Leitfaden für die sichere und umweltverträgliche Biomassevergasung



Deutsche Version

November 2009

Das Projekt wird von der Europäischen Kommission mitfinanziert.





I. Vorwort

Die Vergasung von Biomasse stellt eine vielversprechende Technologie dar, die sicher, energieeffizient und umweltfreundlich ist und einen bedeutenden Beitrag zur Erzeugung erneuerbarer Energie leisten kann. Die Technologie zur Vergasung von Biomasse muss vorangetrieben werden und steht kurz vor der Kommerzialisierung. Jedoch wird die Umsetzung in großem Maßstab durch verschiedene Faktoren erschwert. Führende Vergaserexperten weltweit haben Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltbelange (englisch: health, safety and environment – HSE) als ein wesentliches Hindernis bei der Vermarktung der Technolgie identifiziert.

In vielen Fällen führt unzureichende Kenntnis von bzw. mangelndes Verständnis für HSE-Angelegenheiten sowie ihre Nichtbeachtung zu langen und komplizierten Prozeduren bei der Umsetzung eines Projekts, zu hohen Kosten und manchmal sogar zum Scheitern des Vorhabens. Aus den gleichen Gründen neigen die zuständigen Behörden dazu, den Betreibern von Vergasungsanlagen unrealistische und kostenintensive Anforderungen aufzuerlegen. Ein allgemein akzeptierter Leitfaden für HSE-Angelegenheiten würde diese Barriere auf wirksame Weise überwinden und so signifikant zur Entwicklung einer sicheren und umweltfreundlichen Technologie beitragen.

Mit der Unterstützung des Programms "Intelligente Energie – Europa" (Vertrag Nr. EIE-06-078) wurde von einer internationalen Arbeitsgruppe eine Methodik zur einfachen Risikobewertung entwickelt. Das Hauptresultat der Arbeit ist dieser Leitfaden, der auf die Etablierung eines sicheren technischen Standes bei der Vergasung von Biomasse abzielt. Die Projektgruppe des Vergaserleitfadens glaubt, dass die Anleitung den Interessengruppen, die für Gesundheits-, Sicherheits-, und Umweltfragen verantwortlich sind, dabei helfen wird, dieses Ziel zu erreichen.

Risikobewertung bei der Vergasung von Biomasse nimmt weltweit einen immer höheren Stellenwert ein. Dieser Leitfaden stellt ein effektives Mittel zur Identifizierung von Sicherheitsrisiken und zur kostengünstigen Ermittlung von Maßnahmen zur Risikominderung dar. Hersteller und Betreiber von Vergasungsanlagen erkennen die Notwendigkeit der Risikobewertung. Die meisten haben allerdings nicht die Werkzeuge, die Erfahrung oder die Mittel, um Risiken quantitativ abschätzen zu können.

Der aktuelle Leitfaden basiert auf einer allgemein anerkannten Methodik, wissenschaftlichen Erkenntnissen, dem gesunden Menschenverstand und, soweit möglich, auf messbaren Parametern existierender oder in Planung und Bau befindlicher Biomassevergasungsanlagen. Berücksichtigt wird auch die gängige Praxis in der chemischen Industrie und in Erdölraffinerien. Dieser Leitfaden bietet einen allgemeinen Überblick und erhebt keinen Anspruch auf absolute Vollständigkeit.

Die Existenz eines praktischen Leitfadens für die Vergasung von Biomasse unterstützt verschiedene Zielgruppen, wie z. B. Hersteller, Betreiber, Wissenschaftler, Behörden, Berater und Endverbraucher oder Investoren bei der Bewertung von HSE-Risiken kann ihnen dabei helfen, realistische Maßnahmen zur Reduzierung der Risiken und angemessene HSE-Anforderungen festzulegen.

Danksagung:
Hiermit möchten wir den Experten innerhalb und außerhalb der Beratergruppe für ihre Kommentare und Vorschläge während der Erstellung dieses Leitfadens danken. Besonderer Dank geht an diejenigen, die bei den Fallstudien, durch ihr Feedback und in Form von Bemerkungen oder Empfehlungen aktiv zu diesem Dokument beigetragen haben. Dank auch an alle, die ihre wertvolle Zeit zur Erprobung des Software-Tools aufgewendet haben.

Die Arbeitsgruppe möchte den folgenden Personen besonders danken, die bei der Entwicklung des Leitfadens und/oder des Software-Tools auf freiwilliger Basis mitgewirkt haben:

Herr Henrik Flyver Christiansen, Danish Energy Agency, Dänemark
Herr Gerhard Schmoeckel, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Deutschland
Herr Des Mitchell, OGen Ltd, Großbritannien
Herr Luis Sanchez, Eqtec, Spanien
Herr Frédéric Dalimier, Xylowatt, Belgien
Herr Steve Scott, Biomass Engineering Ltd., Großbritannien
Herr Thomas Otto, TOC, Deutschland
Herr Jacques Chaineaux, Ineris, Frankreich

Das Projekt wurde von Januar 2007 bis Dezember 2009 von der folgenden Arbeitsgruppe durchgeführt:

1. Herr J. Vos und Herr H. Knoef, BTG biomass technology group, Niederlande, **vos@btgworld.com**, **knoef@btgworld.com**, **www.btgworld.com**
2. Herr M. Hauth, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Österreich, **martin.hauth@TUGraz.at**, **www.iwt.tugraz.at**
3. Herr U. Seifert, Fraunhofer-Institut für Umwelt–, Sicherheits– und Energietechnik UMSICHT, Deutschland, **ulrich.seifert@umsicht.fraunhofer.de**, **www.umsicht.fraunhofer.de**
4. Herr Prof. Hofbauer und Herr M. Fuchs, Inst. f. Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften, Technische Universität Wien, Österreich, **fuchsm@mail.tuwien.ac.at**, **www.vt.tuwien.ac.at**
5. Herr L. Cusco und Hr. L. Véchot, Health & Safety Laboratory/HSE, Großbritannien, **Laurence.Cusco@hsl.gov.uk**, **www.hse.gov.uk/**
6. Herr T. E. Pedersen und Herr R. M. Hummelshøj, COWI A/S Energy, Dänemark, **TEP@cowi.dk**, **www.cowi.dk**
7. Prof. Ivan Ivanov, Safety and Environmental Engineering Laboratory (SEEL), Technische Universität Sofia, Bulgarien, **ivec@tu-sofia.bg**, **www.tu-sofia.bg**
8. Herr R. Buehler, Umwelt + Energie, Schweiz, **ruedi.buehler@udena.ch** (Subunternehmer)
9. Herr E. Oettel, Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE) e.V. Deutschland, **info@fee-ev.de**, **www.fee-ev.de** (Subunternehmer)

Haftungsausschluss:

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts tragen die Autoren. Der Inhalt gibt die Meinung der Autoren und nicht immer die Meinung der Europäischen Kommission wieder. Die Europäische Kommission übernimmt keinerlei Verantwortung für jedwede Nutzung der Information, die der Leitfaden enthält.

Obgleich jede Anstrengung unternommen wurde, die Richtigkeit dieses Dokument sicherzustellen, können die Verfasser keine Haftung übernehmen und schließen jegliche Haftung bezüglich möglicher Fehler oder Widersprüche ausdrücklich aus. Die Verfasser geben keine Garantie oder verbindliche Zusage für die Vollständigkeit oder die Eignung des Dokuments für einen bestimmten Zweck, weder ausdrücklich noch implizit. Die Anwendung der Inhalte dieses Dokuments liegt vollständig in der Verantwortung des Nutzers.

III. Inhaltsverzeichnis

IV. Abkürzungen und Definitionen

Abkürzungen

ABV	Anti backfiring valve
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
API	American Petroleum Institute
ATEX	ATmosphères Explosibles (frz.) (dt.: explosionsfähige Atmosphären)
BGP	Biomass Gasifier Plant (dt.: BVA)
BVA	Biomasssevergasungsanlage
CEN	Comité Européen de Normalisation (= Europäisches Komitee für Normung)
CHP	Combined Heat and Power (dt.: KWK)
COMAH	COntrol of MAjor Accident Hazards
DS	Dansk Standard
EC	European Community
EEC	European Economic Community
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FR	Fire Resistance
HAZOP	HAZard and OPerability
HAZID	HAZard IDentification
HSE	Health, Safety and Environment
IC	Internal Combustion
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
INF	Informationshæfte (DK)- [Short note]
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
O&M	Operation and Maintenance (Betrieb und Instandhaltung)
PI	Piping and Instrumentation
PLC	Programmable Logic Controller (dt: SPS = speicherprogrammierbare Steuerung
ppm	parts per million
PSV	Pressure Safety Valve (Sicherheitsventil)
RA	Risk Assessment (Risikobewertung)
RP	Recommended Practice
SIL	Safety integrity level
SME	Small and Medium Enterprises (dt.: KMU)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Definitionen

Biomasse: Jegliches Material, das biologischen Ursprungs ist, ausgenommen Material, das in geologische Formationen eingebettet und in fossile Form umgewandelt ist (Bemerkung: Diese Definition entspricht der Definition von Biomasse in CEN TC 335 "Feste Biobrennstoffe". Biomasse ist die einzige nicht-fossile Kohlenstoffquelle.)

Vergasung: Thermische Umwandlung von kohlenstoffhaltigen Stoffen in ein Produktgas, das hauptsächlich aus CO, H_2, Methan und leichten Kohlenwasserstoffen besteht sowie aus CO_2, H_2O und N_2, abhängig vom angewendeten Verfahren.

Generatorgas: Eine Mischung von Gasen, die bei der Vergasung von organischem Material wie Biomasse bei relativ niedrigen Temperaturen (700 bis 1000ºC) erzeugt

wird. Generatorgas besteht aus Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2) und typischerweise einer Reihe von Kohlenwasserstoffen, wie beispielsweise Methan (CH_4). Generatorgas kann als Brennstoff, z. B. in einem Heizkessel, oder in einem Verbrennungsmotor zur Stromerzeugung genutzt werden oder mit KWK verbrannt werden. Die Zusammensetzung des Gases kann durch die Wahl der Vergasungsparameter verändert werden, um für die Verwendung als Brenngas (Generatorgas) oder Synthesegas optimiert zu werden. Synthesegas enthält fast ausschließlich CO und H_2 und ist für die Synthese von flüssigen Biokraftstoffen geeignet.

Synthesegas: Ein Gasgemisch ausschließlich aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2). Im Anschluß an die Gasreinigung, bei der alle Verunreinigungen wie z. B. Teere entfernt werden, kann das Sythesegas (Syngas) eingesetzt werden um organische Moleküle, wie z.B. synthetisches Erdgas (SNG – Methan (CH_4)) oder flüssige Biokraftstoffe, wie z.B. synthetischen Diesel, herzustellen (nach dem Fischer-Tropsch Verfahren).

Umweltverträglich: Die Erhaltung einer gesunden Umwelt und der Schutz von lebenserhaltenden ökologischen Prozessen. Es beruht auf fundiertem Wissen und bedarf, oder wird resultieren in Produkten, Herstellungsverfahren, Entwicklungen, etc., die mit lebenswichtigen ökologischen Prozessen und der menschlichen Gesundheit harmonisieren.

Verpuffung: Eine Explosion, deren Reaktionszone (Flammenfront) sich mit einer Geschwindigkeit unterhalb der Schallgeschwindigkeit ausbreitet.

Detonation: Eine Explosion, deren Reaktionszone sich mit einer Geschwindigkeit oberhalb der Schallgeschwindigkeit ausbreitet.

CE-Kennzeichnung: Die CE-Kennzeichnung eines Produkts symbolisiert die Einhaltung aller auf das Produkt anwendbaren EG-Richtlinien, welche diese Kennzeichnung vorsehen

Zoneneinteilung: Zonen 1, 2 und 22 gemäß der Richtlinie 1999/92/EG:

Zone 1 Ein Ort, an dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel beim normalen Betrieb wahrscheinlich gelegentlich auftritt.

Zone 2 Ein Ort an dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel, beim normalen Betrieb wahrscheinlich nicht auftritt. Wenn eine solche Atmosphäre auftritt, bleibt sie nur für eine kurze Zeit bestehen.

Zone 22 Ein Ort an dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in Luft bei normalem Betrieb wahrscheinlich nicht entsteht, wenn doch dann nur für kurze Dauer.

Anmerkung: Die Angabe einer Gerätekategorie (z. B. "II2G") bezieht sich auf Geräteeigenschaften (Sicherheitsniveau der Zündquellenvermeidung) und ist nicht mit der Zoneneinteilung eines explosionsgefährdeten Bereichs zu verwechseln.

Begriffe für "Genehmigung" und "Anzeige"

Die in verschiedenen Mitgliedsstaaten der EG offiziell verwendeten Begriffe und Synonyme für eine "Genehmigung (Zulassung)" und für eine "Anzeige" (bezogen auf Anlagen) sind nachstehend aufgeführt.

Land	Genehmigung / Zulassung	Anzeige
Belgien	permis (d'environnement) / (milieu)vergunning	déclaration / aangifte
Dänemark	godkendelse	anmeldelse
Deutschland	Genehmigung, Erlaubnis, Bewilligung, Zulassung	Anzeige, Anmeldung
Frankreich	autorisation	déclaration
Großbritannien (England und Wales)	authorisation, permit, license, (planning) consent	notification, declaration
Irland	licence, permit, permission	
Italien	autorizzazione	comunicazione
Niederlande	vergunning (wet milieubeheer)	aangifte
Österreich	Bewilligung	
Schweden	tillstånd	anmälan
Schweiz	Bewilligung, (Plan-) Genehmigung	Anzeige, (Emissions-) Erklärung
Spanien	autorización	notificación

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Das Ziel des **Projekts** “Vergaserleitfaden” ist es, die Durchdringung des Marktes mit kleinen Biomassevergasungssystemen (< 5 MW Feuerungsleistung) zu beschleunigen, und zwar durch die Entwicklung eines Leitfadens und eines Softwaretools zur Vereinfachung der Risikobewertung im Hinblick auf Aspekte der Sicherheit, des Gesundheits- und des Umweltschutzes (HSE-Aspekte).

Der Leitfaden kann auch bei der Um- oder Nachrüstung alter thermischer Anlagen in moderne Vergasungsanlagen angewendet werden, insbesondere in osteuropäischen Ländern mit großen Biomasse-Ressourcen.

Das Ziel dieses **Dokuments** ist es, den Hauptzielgruppen bei der Identifizierung von potentiellen Gefahrenquellen behilflich zu sein und ihnen eine angemessene Risikobewertung zu ermöglichen. Das Softwaretool soll bei der Risokobewertung eine zusätzliche Hilfe geben.

1.2 Zielgruppen

Verschiedene Organisationen, Institute, Industrieunternehmen und/oder private Institutionen sind im Laufe eines Projekts, während der Entwicklung und Umsetzung einer Biomassevergasungsanlage in der einen oder anderen Phase beteiligt.
Zu den Interessengruppen und damit prinzipiell auch zur Zielgruppe gehören Projektentwickler, Ingenieure, Gesetzgeber und Zulassungsbehörden, Investoren, Berater, Hersteller und Betreiber.
Zusätzlich spielen die betroffenen Gemeinden und politischen Entscheidungsträger eine Schlüsselrolle.
Die Ansichten und Bedürfnisse hinsichtlich der Biomassevergasungtechnologie können unterschiedlich sein. In manchen Fällen können die Interessen der Mitglieder der einzelnen Zielgruppen sogar im Widerspruch stehen, z. B. Hersteller gegenüber Anlagenbesitzern, Endnutzern und Zulassungsbehörden. Für die Umsetzung und Vermarktung der Biomassevergasung gibt es verschiedene Hauptzielgruppen:

- Hersteller,
- Betreiber, Techniker und Anlagenbesitzer,
- Genehmigungsbehörden,
- Investoren und deren Berater,
- Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltschutzexperten (HSE-Experten).

1.3 Anwendungsbereich des Leitfadens

Dieser Leitfaden ist als Ausbildungshilfe und Werkzeug für Beschäftigte und Arbeitgeber gedacht, um kleine Biomassevergasungsanlagen sicher auszulegen, herzustellen, zu errichten, zu betreiben und instand zu halten. Der Leitfaden ist mit folgenden Einschränkungen anwendbar:

- Als obere Leistungsgrenze der Vergasungsanlage wurde 1 MW_{el} angenommen. Der Grund dafür ist, dass größere Unternehmen normalerweise eigene sicherheitsbezogene Regeln aufstellen und anwenden.

- Dies bedeutet prinzipiell eine Beschränkung auf Festbettvergaser. Der Leitfaden ist zum größten Teil aber auch auf andere Vergaserbauarten und sogar auf andere thermische Konversionsverfahren übertragbar.
- Der Einsatz kontaminierter Biomasse liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Leitfadens.

Die Biomassevergasung ist eine komplexe Technologie, und Biomassevergasungsanlagen (BVA) müssen zahlreichen europäischen Richtlinien und nationalen Vorschriften entsprechen. Die einzelnen Schritte im Verfahren und potentielle HSE-Gesichtspunkte einer typischen Anlage sind in Abbildung 1-1 dargestellt. Jeder einzelne Prozessschritt muss im Hinblick auf HSE-Aspekte bei der Planung, Auslegung, Errichtung und im Betrieb sorgfältig betrachtet werden. Gasmotoren werden in diesem Leitfaden nur am Rande berücksichtigt, da es sich dabei um kommerziell verfügbare, mit CE-Kennzeichnung und EG-Konformitätserklärung versehene Aggregate handelt.

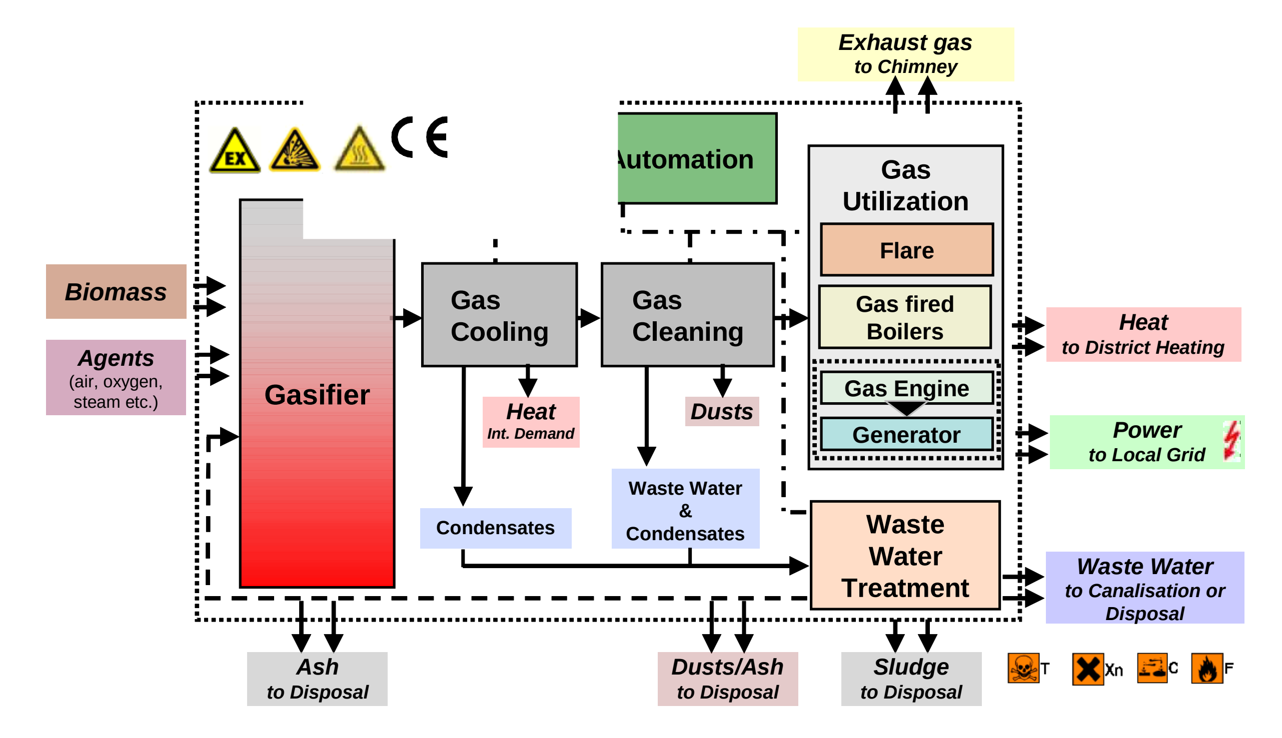


Abbildung 1-1 : Potenzielle Gesundheits-, Sicherheits-, und Umweltbelange bei Vergasungsanlagen

Bei der Formulierung dieses HSE-Leitfadens wurden die folgenden Verfahrensschritte und Systemkomponenten berücksichtigt:

- Lagerung und Handhabung der Biomasse auf dem Betriebsgelände
- Transport und Zuführung der Biomasse
- Vergasungsreaktor
- Gasaufbereitung (Reinigung und Kühlung)
- Gasnutzung (Gasmotor)
- Steuerung und Überwachung
- Nebeneinrichtungen und Betriebsmittel

1.4 Lesehinweis

Der Leitfaden enthält vier Hauptkapitel. Jedes Kapitel kann für sich gelesen werden, ohne den Inhalt der vorangehenden Kapitel kennen zu müssen.

Kapitel 2 gibt eine kurze allgemeine Beschreibung der Vergasungstechnik
Kapitel 3 liefert einen Überblick über den wesentlichen rechtlichen Rahmen der Genehmigung und des Betrieb von BVA. Rechtliche Vorschriften unterliegen fortlaufenden Veränderungen; die Darstellung in diesem Leitfaden basiert auf dem Stand Ende 2007.
Kapitel 4 erklärt den *theoretischen* Hintergrund der Risikobewertungsmethode und der Maßnahmen zur Risikominderung
Kapitel 5 ist das Herzstück des Leitfadens und zeigt an *praktischen* Beispielen gute Prinzipien der Auslegung, des Betriebs und der Instandhaltung. Die praktischen Beispiele und Anmerkungen dazu wurden während der gesamten Projektlaufzeit zusammengetragen; die Beschreibung spiegelt den Stand Mitte des Jahres 2009.
Kapitel 6 beschreibt beste gegenwärtig verfügbare Techniken zur Emissionsminderung, die in Biomassevergasungsanlagen angewendet werden.

Auf der Projektwebseite **www.gasification-guide.eu** stehen folgende Informationen zum Download zur Verfügung:

1. Das Software-Tool "Risk Analyzer" für eine einfache Risikobewertung von Biomassevergasungsanlagen.
2. Eine Checkliste zur schnellen Risikobeurteilung für Genehmigungsbehörden
3. Verschiedene umfassende Berichte als Arbeitsergebnisse des Projekts

2 Beschreibung der Technologie

2.1 Einführung

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen Prozessschritte, die in einer Biomassevergasungsanlage (BVA) angewendet werden. Das Kapitel entspricht einer gekürzten Fassung der technologischen Beschreibung, die im "*Deliverable 8: Biomass gasification: State-of-the-art description*" enthalten ist und über folgende Themen ausführlicher berichtet:

- Allgemeine Informationen (z. B. Auslegung, Informationen über die Emissionen der Anlage, etc.),
- Technologische Details (z. B. Beschreibung grundlegender Techniken),
- Wichtige gesundheits-, sicherheits- und umweltrelevante Fragen.

Die Vergasung von Biomasse mit einem nachgeschalteten Gasmotor eignet sich besonders für die dezentrale Biomassenutzung mit hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung bei der Energieerzeugung. Abbildung 2-1 zeigt das vereinfachte Diagramm einer BVA und illustriert die Hauptkomponenten, die das Verfahren beschreiben und kennzeichnen.

Der Einsatzstoff ("Brennstoff") wird dem Vergasungsreaktor normalerweise mit geeignete Brennstofffördersystemen durch einen gasdichten Verschluß zugeführt (mit Ausnahme des Open-Top-Vergasers). Die Umwandlung des Brennstoffs in ein Generatorgas findet im Vergasungsreaktor statt, wo die thermochemischen Umwandlungsschritte der Trocknung, Pyrolyse, partiellen Oxidation und Reduktion ablaufen und wo die Asche entsteht. In relativ kleinen Anlagen – wie sie in diesem Leitfaden behandelt werden – wird in der Regel Luft als Vergasungsmittel eingesetzt.

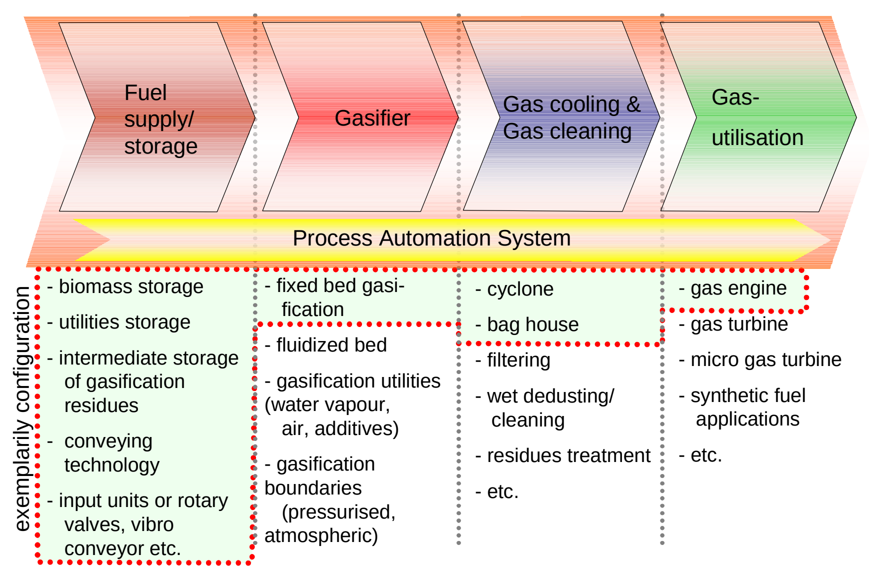


Abb. 2-1: Typische Prozesskette einer Biomasse-KWK-Anlage (vgl. [1])

Das Generatorgas verläßt den Reaktor bei hohen Temperaturen (600-800 °C) mit einem bestimmten Heizwert und mit Verunreinigungen. In den nachfolgenden Schritten der Prozesskette kann die im Generatorgas enthaltene fühlbare (konvektive) Wärme als interne Prozesswärme, zur Brennstofftrocknung und/oder zur Fernwärmeversorgung genutzt werden. Nach verschiedenen Reinigungs- und Abkühlkonzepten wird das Generatorgas trocken (heiß) und/oder nass gereinigt, um

die Anforderungen zur Nutzung im Gasmotor zu erfüllen. Hinweis: Im Falle der nassen Gasreinigung kann die fühlbare Wärme oft nicht genutzt werden.

Beim Betrieb einer BVA ergibt sich ein erhöhtes Gefahrenpotenzial aus dem Umstand, dass ein potenziell explosionsfähiges, giftiges und brennbares Gasgemisch erzeugt und genutzt wird. Mit dem Generatorgas und den entstehenden Rückständen und Umwandlungspodukten (Asche, Flüssigkeiten, Abgase) sind folgende wesentliche Gefahren/Risiken verbunden:

- Explosion und/oder Brand,
- Gesundheitsschäden bei Menschen (Vergiftung, Erstickungsgefahr, Lärm, heiße Oberflächen, Brände und Explosionen), und
- Verschmutzung der Umwelt und der Anlagenumgebung.

Um solchen nachteiligen Auswirkungen entgegenzuwirken, müssen für die erfolgreiche Markteinführung einer sicheren und umweltfreundlichen Biomassevergasungstechnologie angemessene Vorkehrungen getroffen werden.

2.2 Brennstofflagerung, Vorbehandlung, Transport und Zufuhr

Die Lagerung, der Transport und die Vorbehandlung des Brennstoffs können die Brennstoffeigenschaften (z. B. das Trocknen bei der Lagerung) und die Stabilität des Vergasungsprozesses beeinflussen (z. B. die Qualität des Generatorgases, die Stabilität der Wärme- und Stromerzeugung, etc.). Der Brennstoff wird in der Regel in einem separaten Gebäude in der Nähe des Hauptgebäudes der Vergasungsanlage gelagert. Meistens wird die Größe des Brennstofflagers auf der Grundlage des Brennstoffbedarfs für 2-3 Tage Anlagenbetrieb festgelegt, um ein Wochenende ohne Brennstoffanlieferung überbrücken zu können. Vom Lager wird der Brennstoff in den Bereich der Anlage transportiert, in dem die Vorbehandlung stattfindet. Abhängig von der Herkunft des Brennstoffs sind Trocknung, Klassierung oder Kompaktierung die wichtigsten verfügbaren Techniken, um den Anforderungen des Vergasungssystems gerecht zu werden. Nach der Aufbereitung kann das Brennmaterial in einen Vorratsbehälter (Tagesbunker) gefördert werden. Am häufigsten werden hierfür Förderbänder und Schneckenförderer verwendet. Vom Tagesbunker wird der Brennstoff weiter zum Einspeisungssystem befördert, das meistens mit einer Dosiereinheit ausgestattet ist. Das Transportsystem kann mit weiteren Funktionen ausgestattet sein, wie z. B. Sieben, Magnetabscheider, Entfernung von Verunreinigungen und Fremdmaterial und/oder einer Trocknereinheit. Die unmittelbare Einspeisung des Brennstoffs in den Vergasungsreaktor erfolgt üblicherweise mit einem drehzahlgeregelten Schneckenförderer, mit einem Doppelklappen-Schleusensystem oder mit einer Zellenradschleuse.

Dabei ist es wichtig, zu verhindern, dass Gas während der Einspeisung des Brennmaterials entweicht und/oder dass Luft in dieser Phase in den Reaktor einströmt. Rückbrandsichere Systeme oder eine Spülung mit Inertgas können angewendet werden, um die Gefahr der Bildung potenziell explosionsfähiger Atmosphären zu vermeiden. Eine räumliche Trennung des Brennstofflagers vom Vergaser minimiert zusätzlich die potentielle Brandgefahr.

2.3 Hilfsbrennstoffe und Betriebsmittel

Zusätzliche Brennstoffe und Medien sowie Betriebsmittel können für einen stabilen Anlagenbetrieb im Normalbetrieb und bei der Instandhaltung benötigt werden. Tabelle 2-1 zeigt eine Übersicht.

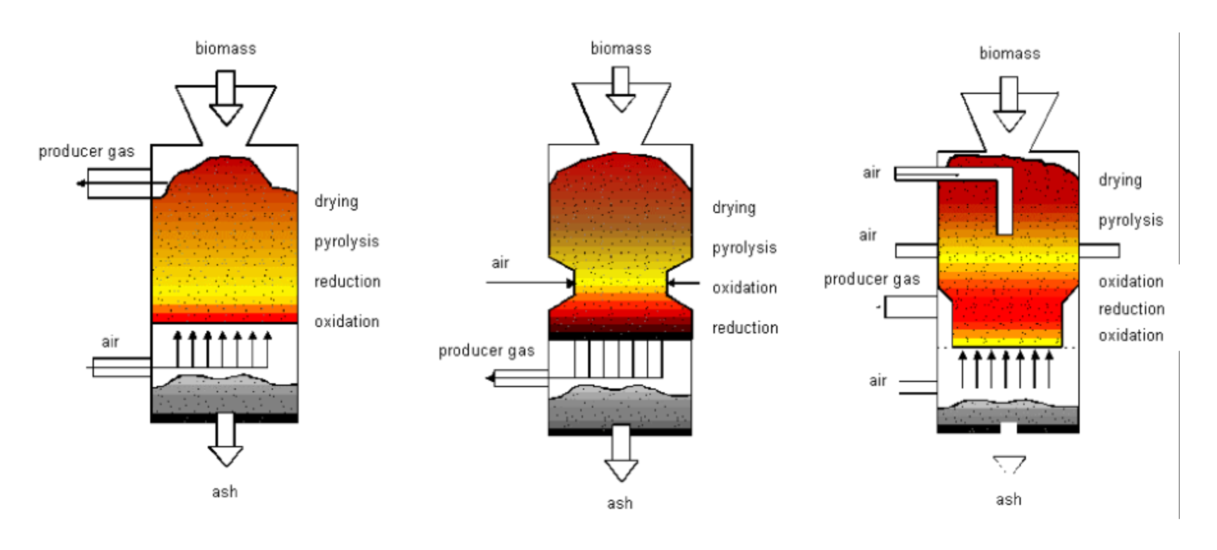
Table 2-1: Beispiele für Zusatzstoffe und Betriebsmittel

Medien	Einsatzzweck
Erdgas / Propangas	Hilfsfeuerung beim Anfahren
(Bio)-Diesel	Hilfsfeuerung, Zündstrahlmotor
(Bio)-Öle	Schmierstoffe, Waschmedium (Gasreinigung)
Stickstoff,	Inertisierung, Spülgas
Wasser, Dampf	Vergasungsmittelzufuhr, Kühlmittel
Luft und Druckuft	Vergasungsmittelversorgung, Betriebsmittel für Betätigungsorgane der Anlage
Strom	Gasgebläse, Förderbänder, Ventilatoren, etc.

2.4 Der Vergasungsreaktor

Die thermochemische Umwandlung von fester Biomasse in ein rohes Generatorgas findet im Vergasungsreaktor (Vergaser) statt. In kleinen Anlagen werden hauptsächlich Aufstrom- und Fallstromvergaser eingesetzt (Abb.2-2). Die Reihenfolge der Umwandlungsschritte von Biomasse, wie das Trocknen, die Pyrolyse, die partielle Oxidation und die Reduktion, hängt von der Art des Vergasers ab. In letzter Zeit wurden Konzepte entwickelt und umgesetzt, bei denen verschiedene Bereiche voneinander physisch getrennt sind, vor allem die Pyrolyse von der partiellen Oxidation. Der Hauptgrund für diese Trennung ist die Optimierung der einzelnen Schritte und die Minimierung der Teerproduktion. Am Auslaß enthält das Generatorgas sowohl die gewünschten Produkte als auch Nebenprodukte:

- gewünschte Produkte: Permanentgase (H_2, CO, CH_4, CO_2, N_2) und Asche mit niedrigem Restkohlenstoffgehalt;
- unerwünschte Nebenprodukte: Feststoffpartikel, Staub, Ruß, anorganische (Alkalimetallverbindungen) und organische Verunreinigungen (Teere oder PAK, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe).



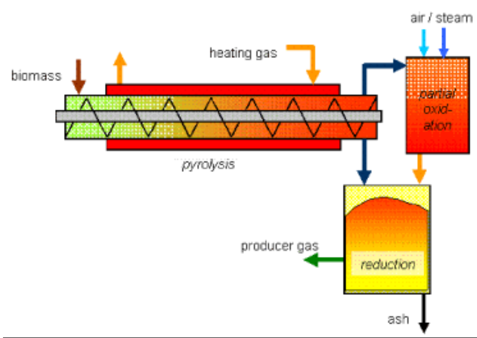


Abbildung 2-2: Typische Vergaser-Konfigurationen bei kleinen bis mittelgroßen Anlagen (Aufstrom-, Fallstromvergaser, Doppelfeuergaserzeuger und zweistufige Vergaser)

2.5 Gaskühlung

Das Ziel der Gaskühlung ist es, die Temperatur des Gases auf einen bestimmten Wert zu reduzieren, und zwar

- zur Behandlung des Generatorgases (z. B. Gasreinigung in Gewebefiltern) oder
- zur Nutzung im Gasmotor; Kühlung erhöht die Energiedichte des Gases.

Dabei ist es empfehlenswert, die fühlbare (konvektive) Wärme des Gases zurückzugewinnen, und zwar zur Bereitstellung von

- interner Prozesswärme (Dampfversorgung, Verdampfungsenergie, etc.),
- Prozesswärme für die Fernwärmeversorgung.

Entsprechend der in Abbildung 2-1 dargestellten Konfiguration der Prozesskette kann die Temperatur des Generatorgases in verschiedenen Stufen gesenkt werden, vergleiche Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2: Beispiele für Temperaturbereiche die durch Gaskühlung erzielt werden können

Temperaturbereiche	**Prozessschritte**
600-800 °C	Zyklone, Keramikfilter
90-250 °C	Gewebefilter
90-400 °C	Gaswäsche, Endkühlung
nahe Umgebungstemperatur	Gasmotor

Anmerkung: Bei der Verwendung von Gewebefiltern muss der Taupunkt von Teer und Wasser berücksichtigt werden. Der Taupunkt ist die Temperatur, bei der die Kondensation der Moleküle einsetzt. Unterschreitung des Taupunkts sollte vermieden werden, da sonst der Filter verstopft, was zu einem erhöhten Druckverlust führt.

2.6 Gasreinigung

Die Reinigung des Gases ist notwendig, um die Anforderungen des Gasmotor-lieferanten auch unter schwankenden Bedingungen bezüglich Gasströmung, Zusammensetzung des Generatorgases, Grad der Verunreinigung etc. zu erfüllen. Die Hauptverunreinigungen des Roh-Generatorgases sind Feststoffpartikel (Ruß, Staub) und Teer. Weitere mögliche Verunreinigungen sind Ammoniak (das im Motor während der Verbrennung zu NO_x umgewandelt wird), HCl, H_2S, Alkalien und Säuren. Die Art der Verunreinigungen ist abhängig von den Prozessbedingungen,

dem verwendeten Brennstoff und dem Vergasertyp. Die folgenden Geräte zur Trocken- und/oder Nassreinigung (oder eine Kombination daraus) sind gebräuchlich:
- Zyklone – primäre Entstaubung (vor der Gaskühlung);
- Heißgasfilter – Feinentstaubung (vor der Gaskühlung);
- Gewebefiltersystem (Schlauchfilter) – Feinentstaubung (nach der Gaskühlung);
- weitere Filter (Sandbettfilter, Aktivkoks-Filterbett); und
- Gaswäscher – Teer- und Staubentfernung mit flüssigen Agenzien (Wasser, Öl, Emulsionen)

2.7 Gasnutzung

Dieser Leitfaden gilt für kleine bis mittelgroße Biomassevergasungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Die Verbrennung im Gasmotor macht eine Konditionierung des aus Biomasse produzierten Gases erforderlich. Dabei müssen die Gasparameter Werte erreichen, die den Spezifikationen des Motors genügen (nahezu konstante Temperatur des Generatorgases, hinreichender Heizwert, Reinheit, Feuchtigkeit sowie der Eingangsdruck am Gasmotor). Gasmotoren sind Serienprodukte; daher müssen Vergaserhersteller sich nach den Anforderungen der Motorenhersteller richten. Es sind nur wenige Ausnahmen bekannt, bei denen Motorenhersteller die Konstruktion des Motors speziell an die Nutzung von aus Biomasse gewonnenem Generatorgas angepasst haben.

Die wichtigsten HSE-Belange an dieser Stelle betreffen die Abgasemissionen. Produkte einer unvollständigen Verbrennung und des Generatorgasschlupfes (überwiegend CO und C_xH_y) sowie thermisches NO_x und Brennstoff-NO_x bedingen den Einsatz nachgeschalteter Abgasbehandlungssysteme, soweit motorspezifische Maßnahmen nicht ausreichen, um vorgegebene Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Zur garantierten Erfüllung der Emissionsanforderungen ist prinzipiell die Anwendung verschiedener Abgasnachbehandlungsverfahren unter Einbeziehung von Katalysatoren oder der Abgas-Nachverbrennung möglich. Langjährige Erfahrung in Bezug auf die Wirksamkeit und Lebensdauer von Katalysatoren ist derzeit noch nicht verfügbar. Die Lebensdauer wird wesentlich durch Katalysatorgifte, wie Schwermetalle, Alkaliverbindungen, etc. beeinflusst, die z.T. sehr schnell die Aktivität der katalytischen Beschichtung herabsetzen.

2.8 Abgasreinigung

Abhängig von den geltenden Emissionsbestimmungen muss das Abgas gereinigt werden, um einen zu hohen CO -, C_xH_y -, NO_x - oder Staubgehalt zu verringern. Die zulässige Emission hängt vom Sauerstoffgehalt des Abgases ab. Manche Motoren laufen zur Reduktion der CO-Emission im sogenannten Magergemischbetrieb; dies hat einen relativ hohen Sauerstoffgehalt im Abgas zur Folge.
Detaillierte Daten über die Zusammensetzung von BVA-Motorabgasen sind nur in sehr begrenztem Umfang verfügbar. In jüngster Zeit hat sich die Konzentration von Benzol als ein Problem herausgestellt, für das es bisher noch keine zufriedenstellende Lösung gibt.

2.9 *Eigenschaften von Generatorgas und damit verbundene HSE-Aspekte*

2.9.1 Typische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften des Gases

Bei kleinen Biomassevergasern wird normalerweise Luft als Vergasungsmittel eingesetzt. Dies hat eine bestimmte Zusammensetzung des Generatorgases zur Folge, die sich erheblich von anderen Gasen wie Biogas oder Erdgas unterscheidet. Charakteristiche Eigenschaften von Generatorgas sind in Tabelle 2-3 zusammengestellt.

Tabelle 2-3: Typische Eigenschaften von Generatorgas im Vergleich mit anderen Gasen

Parameter	Generatorgas	Biogas	Erdgas
CO (vol %)	12–20	<1	<0,5
H_2 (vol %)	15–35	<1	<0,5
CH_4 (vol%)	1–5	50–75	90–99
CO_2 (vol %)	10–15	20–50	<1
N_2 (vol%)	40–50	<1	<1
Heizwert (MJ/Nm^3)	4,8–6,4	18–26	35
Explosionsgrenzen (vol%)	5–59	8–18	4,5–15
Volumenverhältnis Verbrennungsluft:Gas	1,1–1,5	5–7,5	10

2.9.2 Explosionsgrenzen und Explosionsdruck

Die folgenden Gasanalysedaten entstammen einer zweistufigen Vergasungsanlage. Die erste Stufe umfasst die Trocknung und Pyrolyse von Holzhackschnitzeln durch indirekte Beheizung. Die zweite Stufe ist die Pyrolyse von Gasen durch direkte Beheizung mit Verbrennungsprodukten.

Tabelle 2-4: Beispiele der Explosionsgrenzen und Explosionsdrücke

Zusammensetzung des Gases	Pyrolysegas (1. Stufe)	Generatorgas (2. Stufe)
CO_2	0,15 mol/mol	0,13 mol/mol
CO	0,15 mol/mol	0,09 mol/mol
H_2O	0,46 mol/mol	0,29 mol/mol
H_2	0,13 mol/mol	0,22 mol/mol
CH_4	0,07 mol/mol	0,01 mol/mol
N_2	0,00 mol/mol	0,23 mol/mol
Teerkomponenten	0,04 mol/mol	0,02 mol/mol
Molmasse	24,3 kg/kmol	22,3 kg/kmol
stöchiometrisches Verbrennungs-luftverhältnis (mol Luft / mol Gas)	3,00 mol/mol	1,59 mol/mol
Untere Explosionsgrenze (mol/mol)	0,104	0,12
Obere Explosionsgrenze (mol/mol)	0,395	0,62
Explosionsüberdruck bei 15°C Anfangstemperatur des Gases	6,6 bar (ü)	6,1 bar (ü)
Flammentemperatur bei 15°C	1695 °C	1575 °C
Explosionsüberdruck bei 500 °C Anfangstemperatur	3,4 bar (ü)	2,5 bar (ü)
Flammentemperatur bei 500°C	2480 °C	1820 °C

2.10 Regelung und Automatisierung

Unter den momentanen wirtschaftlichen Bedingungen muss eine BVA vollautomatisiert sein und unbemannt betrieben werden können. Vollautomatisierung hat den Vorteil, dass Sicherheitsmaßnahmen in das automatisierte Regelungssystem einbezogen werden können. Grundsätzlich braucht jede Anlage ein Regelungs- und Automatisierungssystem, so dass dieses für Kleinanlagen relativ teuer ist. Die folgenden Einzelschritte laufen größtenteils vollautomatisiert ab:

- Brennstoffeinspeisung (Drehzahlregler oder Betätigung von Klappen);
- Brennstoffpegel im Vergasungsreaktor;
- Sauerstoffversorgung des Vergasungsreaktors (mit der Brennstoffeinspeisung gekoppelt);
- Reinigungsabfolge der eingesetzten Filter (abhängig von Druckverlust);
- Verhältnis Luft:Gas zum Gasmotor.

3 Rechtlicher Rahmen der Biomassevergasung

3.1 Einleitung

Die Planung, die Errichtung, die Inbetriebnahme und der Betrieb von Biomassevergasungsanlagen (BVA) werden durch eine Vielzahl europäischer und nationaler Vorschriften geregelt. Bei der Ermittlung der für kleine und mittlere Biomassevergasungsanlagen relevanten Regelungen erweist es sich als sinnvoll, zunächst eine grobe Unterteilung vorzunehmen zwischen Anforderungen, die sich auf die Auslegung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von BVA auf dem europäischen Markt beziehen, und Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies, zwischen den Pflichten des Herstellers einerseits und den Pflichten des Betreibers andererseits zu unterscheiden.

Hersteller- und Betreiberpflichten beruhen auf unterschiedlichen rechtlichen Grundlagen. Der rechtliche Rahmen für Sicherheitsanforderungen an Produkte, die in Europa in den Verkehr gebracht werden, ist in allen Mitgliedsstaaten der europäischen Gemeinschaft weitgehend vereinheitlicht. Die Anforderungen an den Anlagenbetrieb hingegen weisen deutliche regionale Unterschiede auf. Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, einen generellen Überblick über die auf Biomassevergasungsanlagen anwendbaren Rechtsbereiche zu vermitteln, und zwar sowohl aus der Sicht eines Herstellers als auch eines Betreibers. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Gesundheits- und Umweltschutzes (englisch "Health, Safety and Environment", HSE).

Die Gefahren- bzw. Gefährdungsanalyse und die Bewertung von Risiken zählen zu denjenigen Pflichten, die (in unterschiedlicher Form) sowohl den Hersteller einer Anlage als auch den Betreiber der Anlage betreffen.

3.2 Herstellung und Inverkehrbringen

HSE-bezogene Pflichten der Hersteller von Biomassevergasungsanlagen basieren zu einem großen Teil auf europäischen Richtlinien gemäß Artikel 95 des EG-Vertrags. Solche Richtlinien enthalten grundlegende (Sicherheits- und Gesundheits-) Anforderungen, denen alle Produkte genügen müssen, die in den Anwendungsbereich der Richtlinien fallen und für den europäischen Markt bestimmt sind. Richtlinien mit besonderer Bedeutung für BVA sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Tabelle 3.1: Europäische Richtlinien (mit Anforderungen an die CE-Kennzeichnung), die auf Biomassevergasungsanlagen oder Teile solcher Anlagen anwendbar sein können

Richtlinie: Nummer, Anwendungsbereich	**Anwendungsbeispiele (BVA-Anlagen)**
73/23/EWG: Niederspannung [2006/95/EG]	elektrische Geräte, Antriebe, Steuerungen und Regler, Generator
89/336/EWG: Elektromagnetische Verträglichkeit [2004/108/EG]	elektrische Geräte, Antriebe, Steuerungen und Regler
98/37/EG: Maschinen [2006/42/EG]	Antriebe, Pumpen, Gebläse, bewegte mechanische Teile, Gasmotor, Brennstoffzuführsystem, Entaschungssystem
94/9/EG: Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Richtlinie)	Gebläse, Messgeräte, Flammensperren
97/23/EG: Druckgeräte	Wärmetauscher/Kessel, Druckluftsystem
2000/14/EG: Geräuschemissionen von Geräten und Maschinen zur Verwendung im Freien	Förderbänder

Ein gemeinsames Element dieser Richtlinien ist die Bewertung der Konformität (Übereinstimmung) von Produkten mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen, die in den Richtlinien festgelegt worden sind. Technische Spezifikationen von Produkten, die den grundlegenden Anforderungen entsprechen, sind z. B. in harmonisierten europäischen Normen niedergelegt. Die Anwendung solcher harmonisierter Normen oder anderer Normen geschieht jedoch freiwillig, und es bleibt dem Hersteller freigestellt, die grundlegenden Anforderungen durch andere technische Spezifikationen zu erfüllen.

Eine umfassende Zusammenstellung der nach dem neuen Konzept verfassten europäischen Richtlinien und der zugehörigen harmonisierten Normen findet man (in Englisch) unter der Internetadresse <**http://www.newapproach.org/Directives/DirectiveList.asp**>.

Hersteller sind dazu verpflichtet, die Konformität ihres Produkts mit den grundlegenden Anforderungen der anwendbaren Richtlinien herzustellen und zu erklären, können dabei aber häufig zwischen verschiedenen vorgesehenen Verfahren der Konformitätsbewertung wählen.

Es ist offensichtlich, dass bestimmte Teile einer Biomassevergasungsanlage in den Anwendungsbereich von Richtlinien nach der Tabelle 3.1 fallen. Gelegentlich wird die Frage gestellt, ob eine Biomassevergasungsanlage auch als Ganzes in den Anwendungsbereich einer dieser Richtlinien fällt und daher als Gesamtanlage eine CE-Kennzeichnung, Konformitätsbewertung und Konformitätserklärung benötigt. Diese Frage wird auch im Projektbericht D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification") behandelt, der auf der Webseite des Projekts in englischer Sprache verfügbar ist.

Das nachstehende Zitat aus dem Leitfaden der Europäischen Kommission über Richtlinien nach dem neuen Konzept gibt zu dieser Frage bereits grundsätzliche Hinweise:
"Es liegt in der Verantwortung des Herstellers zu überprüfen, ob sein Produkt in den Geltungsbereich einer Richtlinie fällt.
Eine Kombination aus Produkten und Teilen, die einzeln jeweils den anwendbaren Richtlinien entsprechen, muss als Ganzes nicht in jedem Fall die Bestimmungen erfüllen. … Die Entscheidung darüber, ob eine Kombination aus Produkten und Teilen als ein einziges Fertigprodukt anzusehen ist, muss durch den Hersteller fallweise getroffen werden."[1]

Der Hersteller einer Biomassevergasungsanlage muss ermitteln, bei welchen Teilen der Anlage es sich um Geräte, Systeme oder Baugruppen handelt, die in den Anwendungsbereich von europäischen Richtlinien nach dem neuen Konzept fallen, und für diese Einrichtungen die erforderlichen CE-Kennzeichnungen vornehmen und Konformitätserklärungen ausstellen. Es steht dem Hersteller der Biomassevergasungsanlage frei, Zukaufteile anderer Hersteller zu verwenden, die bereits mit CE-Kennzeichnungen und Konformitätserklärungen oder mit Herstellererklärungen geliefert werden.
Es besteht keine zwingende Verpflichtung für den Hersteller, die Gesamtanlage zu einem einzelnen Produkt im Sinne einer der genannten Richtlinien zu erklären und eine Konformitätserklärung für die Gesamtanlage auszustellen. Der Hersteller der Biomassevergasungsanlage muss dem Betreiber jedoch eine Betriebsanleitung mitliefern, z. B. in Form eines Betriebshandbuchs, in der alle wesentlichen Gefahren behandelt werden, die von der Anlage ausgehen, und in dem auch die Schutzeinrichtungen und Sicherheitsvorkehrungen beschrieben sind, die für den sicheren Anlagenbetrieb erforderlich sind. Dies schließt die Inbetriebnahme, die Außerbetriebnahme und Instandhaltung der Anlage ein.

In der Diskussion mit Experten aus verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten ergab sich, dass unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der Anwendung einiger der in Tabelle 3.1 aufgeführten Richtlinien auf Biomassevergasungsanlagen und hinsichtlich der Konsequenzen ergeben.
Bezüglich der Maschinenrichtlinie wurde teils vorgeschlagen, Biomassevergasungsanlagen wie eine "Gesamtheit von Maschinen" zu behandeln und eine Konformitätsbewertung und -erklärung gemäß der Maschinenrichtlinie für diese Gesamtheit vorzunehmen bzw. auszustellen. Für diesen Vorschlag spricht, dass

[1] Leitfaden für die Umsetzung der nach dem neuen Konzept und dem Gesamtkonzept verfassten Richtlinien, Europäische Kommission, Luxemburg, 2000

gemäß der Maschinenrichtlinie eine Gefahrenanalyse grundsätzlich alle mit der Maschine verbundenen Gefahren zu berücksichtigen hat, d. h. neben mechanischen Gefahren sind auch Gefahren z. B. durch Elektrizität, extreme Temperaturen, Vibrationen, Lärm, Freisetzung von Gefahrstoffen sowie Brand- und Explosionsgefahren zu betrachten.
Dem Vorschlag wurde entgegengehalten, dass bereits die allgemeinen Produktsicherheits- und Produkthaftungsanforderungen eine umfassende Gefahrenanalyse und Risikobewertung seitens des Herstellers eines Produkts erfordern, ohne dass das Produkt dazu notwendiger Weise dem Geltungsbereich einer einzelnen nach dem neuen Konzept verfassten Richtlinie zugeordnet werden müsste. Im Übrigen wird bereits in den von der Europäischen Kommission herausgegebenen "Erläuterungen zu den Richtlinien 98/37/EG"[2] ausgeführt: "Die Bestimmung des Begriffs 'Gesamtheiten von Maschinen' sollte mit gesundem Menschenverstand und Augenmaß ausgelegt werden. Es wäre unsinnig, diesen z.B. auf komplette Industrieanlagen, wie Elektrizitätswerke oder Ölraffinerien, ausdehnen zu wollen."

Eine zweckmäßige Lösung für Biomassevergasungsanlagen könnte darin bestehen, Methoden der Gefahrenanalyse und Risikobewertung auf die Gesamtanlage anzuwenden, die für Maschinen gebräuchlich und normiert sind (z. B. nach EN 1050 bzw. ISO EN 14121-1), ohne jedoch die verfahrenstechnische Anlage *als Ganzes* formal als Maschine (oder Gesamtheit von Maschinen) im Sinne der RL 98/37/EG einzuordnen und ohne für die verfahrenstechnische Gesamtanlage eine Konformitätserklärung nach dieser Richtlinie auszustellen.

Diskutiert wurde auch, ob ein Apparat (wie z. B. ein Vergasungsreaktor), der einem Überdruck von mehr als 0,5 bar lediglich im Fall einer Explosion im Inneren ausgesetzt sein kann, als Druckgerät im Sinne der Druckgeräterichtlinie (DGRL) anzusehen ist, verbunden mit der Frage, welche Auslegungsregeln auf einen solchen Apparat anzuwenden sind[3]. Diese Frage bedarf offenbar noch der Klärung durch zuständige Gremien auf europäischer Ebene. Eine detailliertere Betrachtung hierzu findet sich im Projektbericht D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification"), der auf der Webseite des Projekts in englischer Sprache verfügbar ist.

---

[2] http://ec.europa.eu/enterprise/mechan_equipment/machinery/guide/guide_de.pdf

[3] Hinweise zur Konstruktion, Herstellung und Prüfung von explosionsfesten Geräten finden sich in EN 14460. Diese Norm ist eine harmonisierte Norm zur ATEX-Richtlinie 94/9/EG, nicht jedoch zur Druckgeräterichtlinie.

Bei Biomassevergasungsanlagen im Sinne des vorliegenden Leitfadens handelt es sich derzeit typischerweise um gewerblich genutzte Anlagen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass künftig kleine Biomassevergaseranlagen entwickelt werden, deren Bedienung so weit vereinfacht ist, dass solche Anlagen in Zukunft eine Alternative zu handelsüblichen Heizungsanlagen darstellen, die von Verbrauchern benutzt werden. In diesem Fall kann es für Hersteller erforderlich werden, zusätzlich die Anforderungen der Richtlinie 2001/95/EG über die allgemeine Produktsicherheit zu berücksichtigen, die für Produkte gilt, die für Verbraucher bestimmt sind oder absehbar von Verbrauchern benutzt werden.

Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte führen bei Verbraucherprodukten generell zu weiter gehenden Anforderungen als bei ausschließlich gewerblich genutzten Produkten.

3.3 Errichtung und Betrieb von Biomassevergasungsanlagen

Die Errichtung und der gewerbliche Betrieb einer Biomassevergasungsanlage unterliegen zahlreichen Rechtsvorschriften und Regelungen, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Gestaltung und die Betriebsweise der Anlage haben können. Aspekte mit besonderer Bedeutung für den Umweltschutz, die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz, zu denen rechtliche Regelungen existieren, sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.2: Regelungsbereiche mit möglicher Bedeutung für die Errichtung, die Inbetriebnahme und den Betrieb von Biomassevergasungsanlagen

Hauptaspekt	Detailaspekte	Bedeutung für Biomassevergasungsanlagen
Auswirkungen auf die Umwelt	Genehmigungsanforderungen (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)	BVA fallen nicht in den Anwendungsbereich der IVU-Richtlinie; nationale Regelungen können dennoch integrierte Genehmigungsverfahren vorsehen, vgl. Tabelle 3.3.
	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	eine BVA kann als Vorhaben eingestuft werden, für das ein UVP-Screening erforderlich ist
	Atmosphärische Emissionen: Gase, Staub, Geruch	Emissionen im Normalbetrieb von Gasmotoren, von Fackeln oder aus der Lagerung; auch Anfahr- und Abfahrbetrieb können relevante Emissionen erzeugen
	Lärmemission	Lärm von Apparaten (Gasmotoren, Gebläse, Luftkühler), Materialtransport, Fahrzeuglärm
	Verhinderung von Störfällen	möglicherweise relevant, wenn große Mengen gefährlicher Stoffe auf dem Betriebsgelände gelagert werden
	Abfallerzeugung und -behandlung	Abfälle aus dem Anlagenbetrieb wie z. B. Asche, Teer und verunreinigte Spülflüssigkeiten; spezielle Betrachtung bei betriebsinterner Rückführung von Zwischenprodukten (z. B. Teer aus dem Gasreinigungssystem)
	Abwassereinleitung	Prozessabwasser erfordert ggf. spezielle Behandlung, um Einleitgrenzwerte einzuhalten
	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen / Gewässerschutz	Teer, Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung; Benutzung von Kühlwasser
	Bodenschutz	Teer, Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung

Tabelle 3.2 (Forts.)

Hauptaspekt	**Detailaspekte**	**Bedeutung für Biomassevergasungsanlagen**
Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	Arbeitssicherheit, allgemein	Gefährdungsbeurteilung, Schutzmaßnahmen, Betriebsanweisungen, Persönliche Schutzausrüstung, Notfallmaßnahmen
	Gefahrstoffe und Biostoffe	Zwischenprodukte: Holzgas (CO), Teer; Tätigkeiten mit Chemikalien (Spülflüssigkeiten, Chemikalien für die Wasseraufbereitung), Biologische Arbeitsstoffe (Lagerung von Biomasse)
	Brand- und Exlosions-gefahren; Explosionsschutz	brennbares Holzgas; spezielle Schutzmaßnahmen beim Anfahr- und Abfahrbetrieb; Beurteilung der Explosionsgefährdung (Zoneneinteilung)
	Überwachungsbedürftige Anlagen	besondere Anforderungen für bestimmte Arten von Anlagen und Einrichtungen
	Druckgeräte	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
	Elektrische Anlagen	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
	Maschinen	Anforderungen bezüglich der Errichtung und Instandhaltung, (wiederkehrende) Prüfungen
Andere Regelungen	Erneuerbare Energien und Biomasse	mögliche Auswirkungen auf die Auslegung der Anlage, Art der Einsatzstoffe und Betriebsweise: Einspeisevergütung, KWK, Ursprungsgarantie (erneuerbare Energie) Unterscheidung: (naturbelassene) Biomasse / Abfall
	Energieeinspeisung	Anforderungen bezüglich der Netzeinspeisung von elektrischer Energie
	Bebauungsplanung	Wahl des Betriebsgeländes (gewerbliche / industrielle Tätigkeit)
	Gebäudesicherheit	Brandschutz, statische Gebäudesicherheit

Tabelle 3.2 kann als Checkliste bei der Ermittlung der gesetzlichen Anforderungen an eine Biomassevergasungsanlage dienen, die in einem EU-Mitgliedsstaat errichtet werden soll. Die jeweils für die in Tabelle 3.2 genannten Aspekte zutreffenden Rechtsvorschriften müssen individuell ermittelt werden. Es ist empfehlenswert, mit der bzw. den zuständigen Behörden frühzeitig Kontakt aufzunehmen, um Klarheit über die im Einzelfall anzuwendenden Regelungen und Verfahren zu erlangen.

Bereits in einem frühen Stadium der Anlagenplanung sollte insbesondere geklärt werden, welche Arten von Genehmigung(en) für eine bestimmte Biomasse-vergasungsanlage erforderlich sind. Kleine und mittlere BVA bedürfen in vielen Fällen einer umweltrechtlichen Genehmigung; der Genehmigungsbescheid enthält in diesem Fall z. B. Grenzwerte für Emissionen in die Atmosphäre (Abgas, Lärm) und in das Abwasser.

Welche umweltrechtlichen Anforderungen im Einzelnen an eine BVA gestellt werden, einschließlich der Frage, ob und ggf. nach welchem Verfahren Genehmigungen benötigt werden, hängt von einer Reihe von Einstufungskriterien ab, die sich von Land zu Land unterscheiden. Die wichtigsten dieser Kriterien sind nachstehend aufgeführt:

- Art der zu vergasenden Biomasse: naturbelassene Biomasse oder Abfall[4]
- Durchsatz der BVA, bezogen auf den zu vergasenden Einsatzstoff
- Feuerungswärmeleistung bzw. Energieinhalt des erzeugten Holzgases
- Betrieb der BVA als eigenständige Anlage oder als Teil einer größeren (thermischen) Anlage
- Elektrische Leistung des BHKW
- Art des Gasmotors (z. B. Zündstrahlmotor, Ottomotor)
- Jährliche Betriebsdauer des Gasmotors (Spitzenlastbetrieb oder kontinuierlicher Betrieb)
- Datum der Inbetriebnahme der Anlage
- Eigenschaften des Betriebsstandorts und seiner Umgebung (z. B. Industriegebiet, Gewerbegebiet, Wohngebiet, landwirtschaftlich genutzte Fläche)
- Ableitung von verunreinigtem Abwasser

Die genannten Kriterien beziehen sich auf formale Anforderungen (z. B. Genehmigungs- oder Anzeigeerfordernis) wie auch auf materielle Anforderungen und Konsequenzen (z. B. Emissionsgrenzwerte, Einspeisevergütung).

Die Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) sieht Maßnahmen zur Vermeidung und zur Verminderung von Emissionen bestimmter Tätigkeiten in Luft, Wasser und Boden vor, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen.
Die Situation bezüglich der Genehmigungsanforderungen an Biomassevergasungsanlagen, die sich aus der nationalen Umsetzung der IVU-Richtlinie im Hinblick auf integrierte umweltrechtliche Genehmigungsverfahren ergeben, ist in Tabelle 3.3 für eine Reihe europäischer Staaten dargestellt (Stand: 31.12.2007).

[4] Eine Vergasung von Abfall, welche in den Geltungsbereich der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG fallen würde, ist nicht Gegenstand des vorliegenden Leitfadens.

Tabelle 3.3: Nationale Vorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie; daraus resultierende Genehmigungsanforderungen für kleine und mittlere BVA, in denen naturbelassene Biomasse eingesetzt wird

Staat	**Rechtsvorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie**	**Genehmigungserfordernis für Biomassevergasungsanlagen**
(Europa)	(Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – IVU-Richtlinie)	(Gemäß Anhang I fallen BVA zurzeit nicht in den Geltungsbereich der IVU-Richtlinie.)[5]
Belgien (Beispiel: Brüssel)	Verordnung über Umweltgenehmigungen [Ordonnance du 5 juin 1997 relative aux permis d'environnement du Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale]	
	Liste der klassifizierten Anlagen [Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale fixant la liste des installations de classe IB, II et III]	ja, für die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Material (< 500 t/d) (Nr. 39, Klasse IB)
Bulgarien	Umweltschutzgesetz (SG 91/2002) [Закон за опазване на околната среда (ДВ 91/2002)]	ja
	Verordnung №5 über die Risikobewertung (SG 47/1999) [Наредба №5 за оценка на риска (ДВ 47/1999)]	
Dänemark	Umweltschutzgesetz 2006	
	Verordnung Nr. 1640 vom 13. Dez. 2006 des Umweltministeriums über die Genehmigung bestimmter Vorhaben (Genehmigungsverordnung) [BEK nr 1640 af 13/12/2006 (Godkendelsesbekendtgørelsen)]	ja, wenn die thermische Leistung 1 MW übersteigt (Anhang 2, G 202)
Deutschland	Bundesimmissionsschutzgesetz, BImSchG	
	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV)	ja, wenn die Feuerungswärmeleistung des Verbrennungsmotors bzw. der Energieeinhalt des erzeugten Gases 1 MW oder mehr beträgt (Anhang, Nr. 1.4 und 1.13)
Frankreich	Umweltgesetz	

[5] Anm.: Gemäß einem Vorschlag der Europäischen Kommission zur Neufassung der IVU-Richtlinie [KOM(2007) 844 vom 21.12.2007] sollen künftig auch "Anlagen zur Vergasung ... von Brennstoffen" ohne untere Leistungsgrenze in den Anhang I der IVU-Richtlinie aufgenommen werden.

	[Code de l'environnement] Liste der klassifizierten Anlagen [Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement] [Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation]	ja, für die Erzeugung brennbaren Gases (1410) und für die Verbrennung eines nicht standardisierten Brennstoffs, wenn die Feuerungswärmeleistung 0,1 MW übersteigt (2910)
Großbritannien (England und Wales)	[The Pollution Prevention and Control (England and Wales) Regulations 2000] [The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2007]	mit der Environment Agency zu klären, vgl. Schedule 1 Part 1, Section 1.1 (Combustion Activities) und Section 1.2 (Gasification, Liquefaction and Refining Activities)
Irland	Umweltschutzgesetz 1992 und 2003 [Protection of the Environment (PoE) Act 1992 and 2003]	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich)
Italien	IVU-Gesetz 2005 [Decreto Legislativo 18 febbraio 2005, n. 59 "Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento"] Umweltschutzverordnung [Decreto Legislativo 152 del 3 aprile 2006 recante norme in materia ambientale]	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich) ja (Art. 269)
Niederlande	Umweltgesetz [Wet milieubeheer, Wm] Anlagen- und Genehmigungsverordnung [Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer (Ivb)] Wassergesetz [Wet verontreiniging oppervlaktewateren, Wvo]	ja (stationäre Verbrennungsmotoren > 1,5 kW) (Cat. 1, 1.1b)
Österreich	Gewerbeordnung GewO 1994, zuletzt geändert 2006] IG-L Immissionsschutzgesetz – Luft	ja, aber für BVA gelten nicht die speziellen Anforderungen an IVU-Anlagen ja
Schweden	The Environmental Code [SFS 1998:808 Miljöbalk] Ordinance on environmentally hazardous activities [Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd]	nein, für Vergaser und Gasmotoren < 10 MW(th), aber Anzeige erforderlich (40-5 and 40.1-2) [ab 1. Jan. 2008: ja, wenn mehr als 150.000 m^3 brennbares Gas pro Jahr erzeugt wird – 40.10 (B)]
Schweiz	(IVU-Richtlinie in der Schweiz nicht umgesetzt!) Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)	ja; Baugesetze der Schweizer Kantone bestimmen das Genehmigungsverfahren
Spanien	IVU-Gesetz [Ley 16/2002 de 1 de julio de Prevención y	(BVA fallen nicht in den Geltungsbereich)

	Control Integrados de la Contaminación (Ley IPPC)]	
	Luftqualitätsgesetz [LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera]	mit der zuständigen Behörde zu klären: Trockendestillation von Holz (Anhang IV, 1.1.3, Gruppe A); konventionelle Heizkraftwerke < 50 MW thermisch (2.1.1, group B); Gaserzeuger (3.1.2, Gruppe C)

In einigen europäischen Staaten wurde Anhang 1 der IVU-Richtlinie unverändert in nationales Recht übernommen, so dass Biomassevergasungsanlagen nicht in den Geltungsbereich der betreffenden nationalen Regelungen fallen. In anderen europäischen Staaten wurden die Pflichten nach der IVU-Richtlinie mit weitergehenden einzelstaatlichen Vorschriften über die Genehmigung von Anlagen und Vorhaben in einer Rechtsvorschrift kombiniert.
Selbst dann, wenn eine BVA nicht vom Geltungsbereich staatlicher Vorschriften zur Umsetzung der IVU-Richtlinie erfasst wird, können Genehmigungen (z. B. Baugenehmigungen) oder Anzeigen bei zuständigen Behörden aufgrund anderer staatlicher oder regionaler Vorschriften erforderlich sein.

Aus diesem Grund ist dringend zu empfehlen, ein Vorhaben zur Errichtung und zum Betrieb einer Biomassevergasungsanlage frühzeitig mit den örtlich zuständigen Behörden zu besprechen und Auskünfte über die jeweils anzuwendenden Vorschriften einzuholen.

Staatliche Regelungen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz bezüglich der in Tabelle 3.2 aufgeführten Aspekte verlangen vom Arbeitgeber generell, Risiken für die Beschäftigten zu vermeiden oder zu minimieren, die Beschäftigten zu schulen und zu unterweisen, für eine geeignete Organisation zu sorgen und erforderliche Mittel bereitzustellen. Zu diesem Zweck muss der Arbeitgeber Gefährdungen beurteilen und Risiken bewerten; die Ergebnisse dieser Beurteilungen und die festgelegten Schutzmaßnahmen müssen schriftlich dokumentiert werden.

Bei einer Biomassevergasungsanlage schließt dies u. a. folgende Dokumente ein:
- ein Verzeichnis der im Betrieb verwendeten Gefahrstoffe,
- ein Explosionsschutzdokument,
- schriftliche unternehmensbezogene Betriebsanweisungen.

Neben öffentlich-rechtlichen Vorschriften sind Arbeitsschutzvorschriften der gesetzlichen Unfallversicherungsträger zu beachten. Hinzu kommen HSE-bezogene Anforderungen der Versicherer, wenn für eine Biomassevergasungsanlage Sach- oder Haftpflichtversicherungsschutz erlangt werden soll.

3.4 Genehmigungsverfahren für Biomassevergasungsanlagen

Wenn eine Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer Biomasse-vergasungsanlage erforderlich ist, muss der Antragsteller detaillierte Angaben zu

dem Vorhaben machen. Ablauf und Inhalte des Genehmigungsverfahrens sind regional unterschiedlich, u. a. hinsichtlich

- der zuständigen Behörde(n),
- der Informationen, die als Bestandteil des schriftlichen Genehmigungsantrags einzureichen sind,
- der zu benutzenden Antragsformulare und
- der Zahl der einzureichenden Kopien des Genehmigungsantrags.

In der Tabelle 3.4 sind Informationsquellen (als Weblinks) und Suchstrategien zur Ermittlung offizieller Informationen zum Genehmigungsverfahren und zu den vorgeschriebenen Formularen für eine Reihe europäischer Staaten zusammengestellt.

Tabelle 3.4: Übersicht über Informationsquellen zu den notwendigen Angaben in Genehmigungsanträgen für Biomassevergasungsanlagen

Staat	**Anwendungsbereich / Art des Vorhabens;** **Informationsquellen zu (umweltrechtlichen) Genehmigungsverfahren**
Belgien (Beispiel: Brüssel)	Genehmigungsverfahren für klassifizierte Anlagen: **http://www.ibgebim.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=1210&langtype=2060**
Dänemark	Heizkraftwerk, Gasturbine oder Gasmotor im Leistungsbereich 1–5 MW (thermisch): Anlage 5 Abschnitt 3 der Genehmigungsverordnung (BEK No. 1640 vom 13/12/2006) **https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13040**
Deutschland	Biomassevergaser und Verbrennungsmotoren > 1 MW (FWL): Verordnung über das Genehmigungsverfahren (9. BImSchV), §§ 3, 4 und 4a) bis 4e) **http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv_9** Zusätzliche Informationen und Antragsformulare sind auf dem Webseiten der Landesumweltministerien zu finden. (Suchstichworte: "Antrag Genehmigung Immissionsschutz <Land>") z. B. für Nordrhein-Westfalen: **http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/immissionsschutz/genehmigungsverfahren/index.php**
Frankreich	Genehmigungsverfahren für klassifizierte Anlagen: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/-Regime-d-autorisation-.html** Informationen zu Details des Genehmigungsantrags: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/Comment-constituer-le-dossier-de.html**
Großbritannien (England und Wales)	Planning process for renewable energy: **http://www.berr.gov.uk/energy/sources/renewables/planning/process/page18680.html** Energy from solid biomass plants (background document): **http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0706BLBH-e-e.pdf?lang=_e** Bedeutung des Begriffs “genehmigungsbedürftige Anlage” (regulated facility): **http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/epr2_v1.0_2000543.pdf**

	Erfüllung der Genehmigungsbedingungen bei Verbrennungseinrichtungen: **http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0209BPIN-e-e.pdf**
Irland	Allgemeine Informationen zu Genehmigungsverfahren: Environmental Protection Agency (Ireland) **http://www.epa.ie/downloads/advice/**
Italien	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Umweltbehörden der Provinzen (Suchstichworte: "autorizzazione ambiente <Provinz>")
Niederlande	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Antragsformulare für umweltrechtliche Genehmigungen sind auf den Websites der Städte und Gemeinden zu finden. (Suchstichworte: "aanvraag vergunning milieubeheer <Gemeinde>")
Österreich	Gewerblich betriebene Biomassevergasungsanlagen: §§ 353 und 353a der Gewerbeordnung (GewO 1994) **http://www.ris2.bka.gv.at/Bundesrecht/** Detaillierte Informationen zu Genehmigungsverfahren sind im österreichischen "Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungs-anlagen" zusammengestellt worden: **http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/leitfaden_biomassevergasungsanlagen.pdf**
Spanien	Allgemeine Informationen: Spanisches Umweltministerium **http://www.mma.es/portal/secciones/** (Durch das Luftqualitätsgesetz vom 15. Nov. 2007 wurden neue Genehmigungsanforderungen eingeführt.)
Schweden	Umweltrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen: Allgemeine Informationen zu Genehmigungsverfahren auf der Website des schwedischen Umweltministeriums: **http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Tillstand-och-anmalan-for-miljofarlig-verksamhet/** Zusatzinformationen und Antragsformulare sind auf den Websites der Landesverwaltungen [länsstyrelsen] zu finden. (Suchstichworte: "tillstånd miljöfarlig verksamhet <Land>")
Schweiz	Industrieanlagen: Baugesuch, Emissionserklärung, Bewilligung für Industrieanlagen: Spezielle Antragsformulare und Leitfäden findet man auf den Webseiten der Schweizer Kantone. (Suchstichworte: "Baugesuch Industrie <Kanton>"; "Plangenehmigung Betriebsbewilligung <Kanton>")

Ein Antrag auf Genehmigung der Errichtung und des Betriebs einer Biomasse-vergasungsanlage muss typischerweise Angaben zu folgenden Punkten enthalten:

- Angaben zum Antragsteller (Name, Adresse),
- genehmigungsrelevante Einstufung der Anlage bzw. der Tätigkeit nach nationaler Klassifikation (z. B. Einordnung gemäß der Liste genehmigungsbedürftiger Anlagen),
- Beschreibung des Anlagenstandorts, ergänzt durch Karten und Lagepläne in unterschiedlichen Maßstäben,
- Beschreibung der Anlagenteile und der Betriebsweise (Text, Fließbilder, Apparatelisten, Aufstellungspläne),

- Stoff- und Energiebilanzen der gesamten Anlage (Einsatzstoffe, Emissionen, Abfälle, Hilfsstoffe, ein- und ausgehende Energieströme) nebst Darlegung, dass sämtliche emittierten Stoffströme berücksichtigt worden sind,
- allgemeine Angaben zum Arbeitsschutz,
- Beschreibung spezieller Gefahren (Brände, Explosionen, Gefahrstoffe) und entsprechender Schutzmaßnahmen,
- Beschreibung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen (z. B. Schallemissionen, Emission von Gasen, Dämpfen und Stäuben in die Atmosphäre),
- Beschreibung des Umgangs mit Abfällen und Abwasser.

Gelegentlich werden zusätzliche Sachverständigengutachten oder -prognosen verlangt, z. B. bezüglich Schallemissionen, Brand- und Explosionsschutz.

3.5 Spezielle Aspekte des Genehmigungsverfahrens für Biomassevergasungsanlagen in europäischen Staaten

Österreich

Eine detaillierte Darstellung des rechtlichen Rahmens für die Errichtung und den Betrieb von Biomassevergasungsanlagen, der im Genehmigungsverfahren erforderlichen Dokumente und der zuständigen Behörden in Österreich ist im "Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen", Kapitel 4, zusammengestellt worden: <**http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/leitfaden_biomassevergasungsanlagen.pdf>**. Kleine gewerblich genutzte BVA unterliegen der Gewerbeordnung. Die Erzeugung von Strom mit diesen Anlagen unterliegt dem Elektrizitätswirtschaftsrecht der österreichischen Bundesländer.

Dänemark

Genehmigungsanforderungen an BVA im Bereich von 1 – 5 MW thermischer Leistung sind im Anhang 5 Abschnitt 3 der Genehmigungsverordnung (BEK Nr. 1640 vom 13.12.2006) aufgeführt. Diese Verordnung enthält eine detaillierte Beschreibung der vom Antragsteller im Genehmigungsantrag vorzulegenden Informationen.

Deutschland

Für BVA mit weniger als 1 MW Energieäquivalent des erzeugten Gases bzw. Feuerungswärmeleistung des BHKW ist eine Baugenehmigung durch die örtliche Bauordnungsbehörde erforderlich. Für größere Anlagen ist ein umweltrechtliches Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz durchzuführen, wobei diese Genehmigung andere relevante Genehmigungen (z. B. nach Baurecht) einschließt. Erfahrungsgemäß kann die Lärmemission des BVA-Betriebs ein wesentliches Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Anlagenstandorts sein.

Niederlande

Genehmigungen für kleine BVA werden durch lokale Behörden erteilt, meistens durch die Kommune oder die Provinz. Die Baugenehmigung ist davon abhängig, dass keine Bodenverunreinigungen am Anlagenstandort vorliegen.

Brandschutz- und -Sicherheitsmaßnahmen werden durch die Kommune und die lokale Feuerwehr beurteilt. Die Anwendung von BVT ist erforderlich, um eine umweltrechtliche Genehmigung und Baugenehmigung zu erlangen.

Schweiz
Umweltschutzaspekte (Emissionen, Abfälle) und Aspekte der Arbeitssicherheit werden im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens behandelt. Das Baugesuch schließt eine Emissionserklärung und einen Antrag auf Plangenehmigung bzw. Betriebsbewilligung einer Industrieanlage ein.
Für Baugenehmigungen sind die kantonalen Baubehörden zuständig. Angaben zum Brandschutz der Anlage sind u. a. der kantonalen Feuerversicherung vorzulegen.

3.6 Rechtlicher Hintergrund von Anforderungen mit Bezug auf "Beste verfügbare Techniken"

Gemäß Artikel 2 der IVU-Richtlinie bezeichnet „beste verfügbare Techniken” (BVT) den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern; dabei bedeutet
— „Techniken” sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird;
— „verfügbar” die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind;
— „beste” die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.
Dem Begriff "beste verfügbare Techniken" entspricht im deutschen Immissionsschutzrecht der Begriff "Stand der Technik" (SdT).

Artikel 9 der IVU-Richtlinie enthält die Anforderung, dass Emissionsgrenzwerte (oder äquivalente Parameter und äquivalente technische Maßnahmen) auf die „besten verfügbaren Techniken“ zu stützen sind, ohne dass die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird. Hierbei sind die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geographischer Standort und die jeweiligen örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen.

Biomassevergasungsanlagen im Sinne des vorliegenden Leitfadens fallen aufgrund der Leistung der Anlagen und der Einsatzstoffe nicht in den Geltungsbereich des Anhangs I, Kategorie 1 (Energiewirtschaft) der IVU-Richtlinie und auch nicht unter die in Kategorie 6 (Sonstige Industriezweige) aufgeführten Anlagenarten. Das europäische Regelwerk enthält somit keine Verpflichtung für die Mitgliedsstaaten, Emissionsgrenzwerte für Biomassevergasungsanlagen auf der Grundlage bester verfügbarer Techniken festzulegen. Wie in Kapitel 3.2 dargelegt wurde, fallen kleine

und mittlere BVA jedoch in einigen Mitgliedsstaaten in den Geltungsbereich der Vorschriften, welche die IVU-Richtlinie in nationales Recht umsetzen. Dies hat zur Folge, dass in einzelnen Staaten auch für Biomassevergasungsanlagen Emissionsgrenzwerte auf der Grundlage der besten verfügbaren Techniken festzulegen sind.

Im BREF-Dokument über Großfeuerungsanlagen[6] aus dem Jahr 2006 wird die Vergasung von Biomasse als "emerging technique" (in Entwicklung befindliche Technik) beschrieben, welche derzeit nur in Demonstrations- und Pilotanlagen angewandt wird. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass sich bei Biomassevergasungsanlagen größeren wie auch kleineren Maßstabs die Techniken der Abgasreinigung ebenfalls noch in der Entwicklung befinden. Die Fragen,

- welche der bei Verbrennungsverfahren angewandten Techniken zur Emissionsbegrenzung sich erfolgreich auf Biomassevergasungsanlagen übertragen lassen, und
- welche Emissionswerte auf diese Weise unter Berücksichtigung sowohl umweltbezogener als auch wirtschaftlicher Erwägungen erzielt werden können,

bedürfen noch einer Antwort.

Kapitel 6 dieses Leitfadens enthält eine kurze Beschreibung der Techniken zur Emissionsminderung, die derzeit in kleinen Biomassevergasungsanlagen angewendet werden.

[6] Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006, http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169

4 Theoretische Grundlagen der Risikobewertung

4.1 Einführung

Die Technologie zur Vergasung von Biomasse unterscheidet sich von anderen Energieumwandlungsmethoden auf der Grundlage erneuerbarer Energieträger (z. B. Verbrennung von Biommasse) dadurch, dass sie die Herstellung, Behandlung und Nutzung von brennbaren und giftigen Gasgemischen, Anlagenmedien und Betriebsmitteln beinhaltet. Daher ist eine angemessene Risikobewertung dringend zu empfehlen und häufig auch eine rechtliche Voraussetzung, um eine solche Anlage vermarkten und betreiben zu dürfen.

Die Risikobewertung hat den Schutz der Beschäftigten und der Anlage selbst zum Ziel. Hersteller und Betreiber müssen bedenken, dass Unfälle und Gesundheitsschäden Leben zerstören können. Der Betrieb kann ebenfalls beeinträchtigt werden, wenn durch Störungen und Unfälle die Produktion nachläßt, Maschinen beschädigt werden, Versicherugskosten steigen oder wenn Strafverfolgung droht.

Eine Risikobewertung beinhaltet die sorgfältige Untersuchung der möglichen Ursachen von Schäden für Mensch und Umwelt, die von einer Anlage ausgehen, und die Ableitung geeigneter Gegenmaßnahmen. Hersteller und Betreiber müssen eine vollständige und gut dokumentierte Risikobewertung vornehmen in Bezug auf:

- Gesundheit – z. B. Gesundheitsgefahren, Gefahren durch giftige Gase etc.;
- Sicherheit – z. B. Explosionsgefahr, Brandgefahr etc.;
- Umwelt – z. B. Anlagenemissionen, Austritt von giftigen Stoffen

Eine Risikobewertung muss während der Planungsphase (vom Hersteller) durchgeführt werden, um einen Anlagenentwurf zu optimieren. Bei Anlagen, die schon im Betrieb sind, bewirkt eine erneute Risikobewertung die kontinuierliche Aktualisierung der ursprünglichen Einschätzung (durch die Hersteller und Betreiber) und eine Verminderung der verbleibenden Risiken.
Es gibt verschiedene Methoden der Risikobewertung, aber es existiert kein allgemeines Standardverfahren für die Risikoeinschätzung bei Biomassevergasungsanlagen. Anleitungen zur Risikobewertung kann man in verschiedenen Fallstudien finden, die in anderen Zweigen der Industrie gemacht wurden (z.B. Lebensmittelindustrie, Chemie- und Metallindustrie, etc.). Solche Beispiele können dabei nur eine Methodik aufzeigen und müssen häufig für die Übertragung auf BVA angepasst werden.

4.2 Angewandtes Risikobewertungsverfahren für Biomassevergasungsanlagen

Die Einschätzung von Risiken ist eine komplexe Aufgabe, die umfangreiche Kenntnisse des Produktionsverfahrens, des Betriebsverhaltens sowie Erfahrung mit den Methoden der Risikobewertung selbst voraussetzt. Für diese Aufgabe wird eine Arbeitsgruppe empfohlen, die Expertisen auf verschiedenen Gebieten hat. Die folgende Informationen werden benötigt:

- Anlagen- und Betriebsbeschreibung (Verfahrensdiagramme, Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild (R&I-Schema), Kennzeichnungssystem und Anlagendokumentation, Apparateauslegung etc.);

- Definierte Betriebszustände (Kenntnis der Vorgänge beim An- und Abfahren sowie im normalen Betrieb); Regelungsstrategien;
- Angaben zu Betriebsmitteln, Gasgemischen und Stoffströmen (z. B. Abwasser, Gasreinigungsrückstände, Stäube, Abgas) sowie die entsprechenden Stoffeigenschaften (Toxizität, Explosionseigenschaften, etc.);
- Gewünschte Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Stoffströme und Gaszusammensetzung);
- Gerätelisten, Auslegungsdetails;
- Massen- und Energiebilanzen, Stoffstrominformationen (Temperatur, Druck, Zusammensetzung, Schadstoffbelastung, etc.);
- Informationen über die Umgebung der Anlage (geographische Bedingungen, Umweltaspekte, etc).

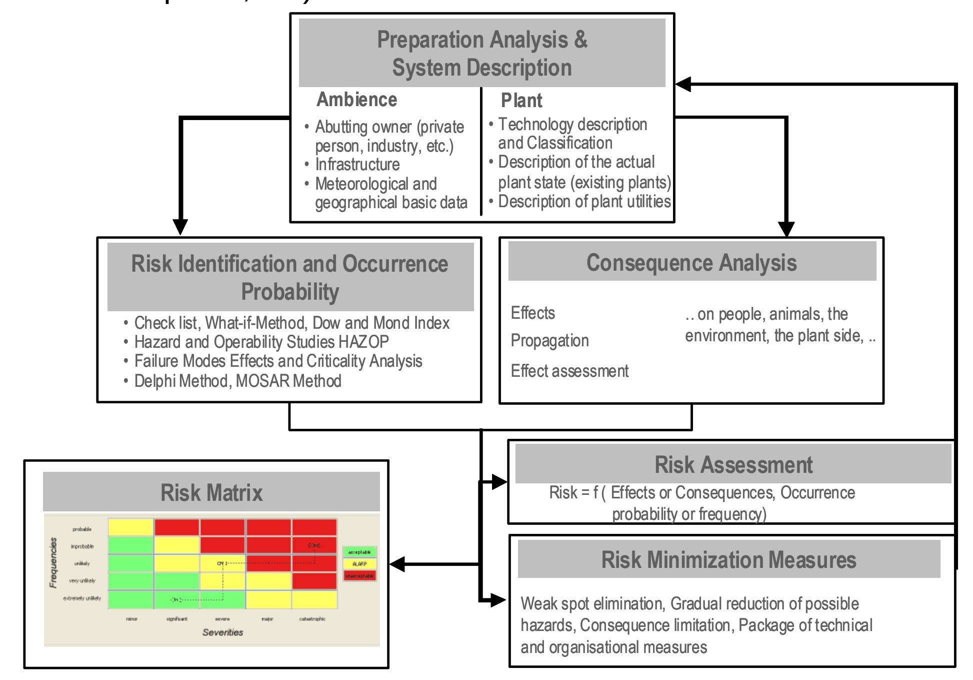


Abb. 4-1 Systematischer Ansatz für die Risikobewertung von Biomassevergasungsanlagen

Da die Vergasung von Biomasse in kleinen Anlagen eine einzigartige und relativ neue Technologie darstellt, sind noch keine speziellen Techniken zur Risikobewertung vorhanden. Dieser Leitfaden empfiehlt eine Methodik zur Risikobewertung, die praktizierbar und hinreichend ist für die Anwendung an dieser Art von Anlagen. Der gewählte Ansatz basiert auf einer Funktionsanalyse der Anlage *[Ref 10-12]*. Er ist angelehnt an das HAZOP-Verfahren (PAAG-Verfahren) *[Ref 13, 20]* und die “Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse” (FMEA) *[Ref 14]* und stützt sich auf die Empfehlungen einer Expertenkommission *[Ref 13, 15]*.

In vielen Fällen hat man es bei der Risikobewertung mit einem sehr komplexen System zu tun, das eine enorme Anzahl von meist unabhängigen Funktionen und Anlagenteile umfasst. Durch die Unterteilung des Verfahrens in verschiedene Prozesseinheiten *[Ref 1, 17]* (z. B. Brennstofflagerung, Handhabung, Zuführung, Vergaser, Gaskühlung, Gasreinigung, Gasaufbereitung und Gasnutzung) wird das komplexe System vereinfacht. Somit ist eine getrennte Analyse für jede Funktion möglich (z. B. für den Vergaser: Brennstoffzufuhr, Zufuhr von Hilfsstoffen wie Luft und Dampf, Regelung der Temperatur im Vergaser, Ascheaustrag etc.).

Die mit der Risikobewertung befasste Arbeitsgruppe muss für jede untersuchte Funktion *[Ref 21]*:

- die mögliche Gefahren und die zugehörige Ereignishäufigkeit ermitteln;
- die Folgen dieser Gefahren und den Schweregrad identifizieren;
- die daraus resultierenden Risiken abschätzen;
- geeignete Maßnahmen zur Minderung anwenden;
- die Risikobewertung regelmäßig überprüfen und aktualisieren

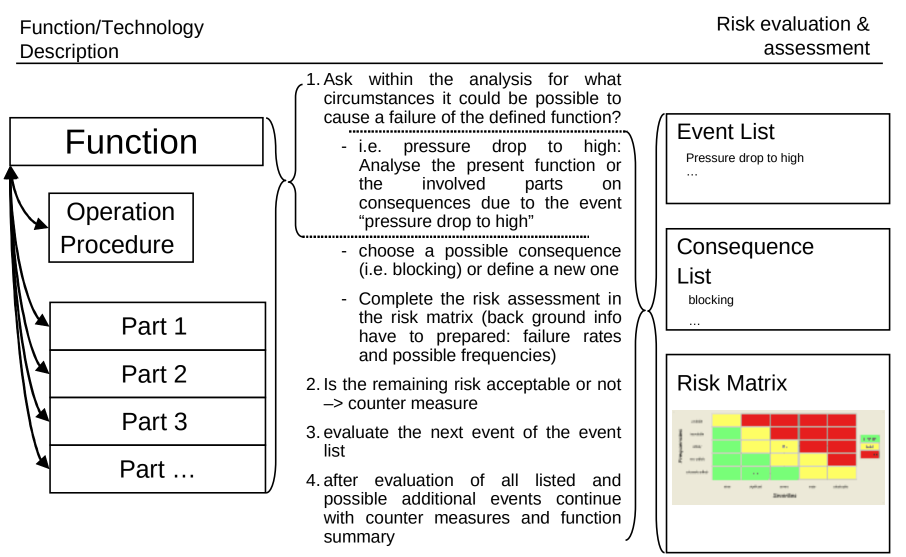


Abb. 4-2 Schematische Beschreibung für die Risikobewertung und Beurteilung bezogen auf die Untersuchung einer einzelnen Funktion

Abb. 4-2 zeigt einen allgemeinen Überblick über die Prinzipien und die Methodik, die einer Risikobewertung zugrundeliegen. Alle Schritte der Bewertung müssen gut dokumentiert werden, um Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.
Die folgenden Abschnitte geben die Grundlage für die Durchführung der Gefahrenidentifizierung (Hazard-ID), der Risikobewertung selbst (RA) und für die Umsetzung von konkreten Maßnahmen zur Risikominderung (RR). Ein Beispiel für die Risikobewertung anhand einer Prozess-Konfiguration im Gesamtmodell ist im Software-Tool-Handbuch enthalten ("D11 – Software Tool and Manual").

4.3 Identifizierung der Gefahrenund ihrer Auswirkungen

Die mit der Risikobewertung betraute Arbeitsgruppe muss für jede definierte Funktion eine Gefahrenidentifizierung vornehmen. Diese besteht aus der Identifizierung aller Situationen und Ereignisse, die schädlich für Menschen und die Umwelt sein können.
Diese gefährlichen Ereignisse können unterschiedlicher Natur sein:

- Abnormale Betriebsbedingungen (Temperatur, und Druck);
- Versagen von Anlagenteilen;
- Leckagen;
- Bedienfehler;
- Austritt von Stoffen;
- etc.

Der in diesem Leitfaden vorgeschlagene Ansatz orientiert sich grundsätzlich an den Methoden der HAZOP- und FMEA-Analyse. Es existieren weitere Techniken zur Gefahrenidentifizierung, die ebenfalls angewendet werden können (siehe Annex A).

Die Eintrittshäufigkeit der einzelnen identifizierten gefährlichen Ereignisse muss ermittelt werden (z. B. Anhand von Ausfallraten von Geräten, vorhandenen Daten) *[Ref 23, 26]*. Ein untersuchtes gefährliches Ereignis selbst kann durch verschiedene Ereignisse oder Situationen verursacht werden, die alle bei der Berechnung der gesamten Ereignishäufigkeit berücksichtigt werden müssen.
Alle diese möglichen gefährlichen Ereignisse müssen analysiert werden, um ihre möglichen Auswirkungen, wie Brände, Explosionen, Emissionen, etc. zu bestimmen *[Ref 26]* (siehe Abbildung Abb. 4-3).

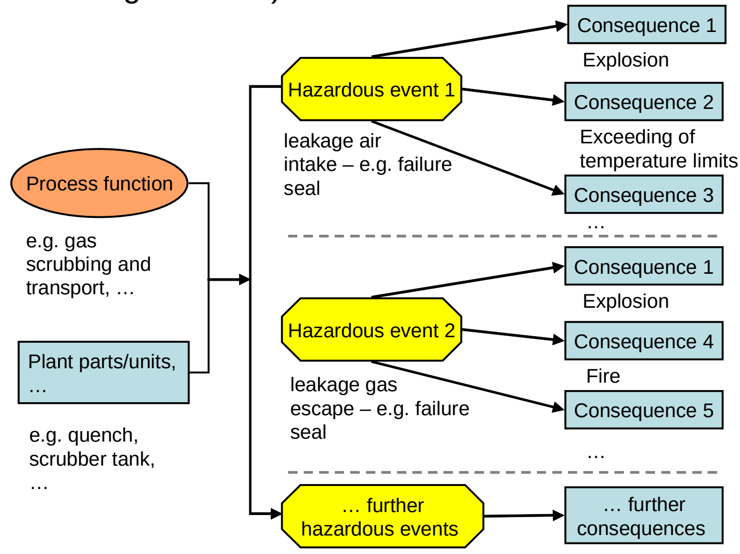


Abb. 4-3 Strukturdiagramm für die Gefahrenidentifizierung

Die Identifizierung der möglichen gefährlichen Ereignisse und ihrer Auswirkungen sollte von einem interdisziplinären Expertenteam durchgeführt werden. Dabei sollten realistische Zahlen für die Abschätzung der Häufigkeit und des Schweregrades eines Ereignisses verwendet werden.

4.4 Risikobewertung

Der nächste Schritt des Verfahrens ist es, die Risiken zu bewerten, die mit den identifizierten gefährlichen Ereignissen verbunden sind. Das Risiko wird als die Kombination von einer Auswirkung (Schweregrad) und der Wahrscheinlichkeit (Häufigkeit) ihres Auftretens interpretiert. Eine Risikomatrix erlaubt die grafische Darstellung dieser Kombination (siehe Abbildung Abb. 4-4) *[Ref 21, Ref 27, Ref 28.* Sie stellt eine einfache Methode dar, die Verteilung von Risiken zu visualisieren, Gefahren grob einzuteilen oder eine einfache Risikoanalyse durchzuführen. Der wesentliche Vorteil der Matrix ist die einfache Darstellung der unterschiedlichen Risikoniveaus und der Umstand, dass ihre Verwendung es erlaubt, auf zeitaufwändigere quantitative Analysen zu verzichten, wo diese nicht gerechtfertigt sind.
Bei der Anwendung der Risikomatrix können die im vorangegangenen Schritt ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schweregrad in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Tabelle 4-1 und 4-2 schlagen eine Struktur vor, die dafür verwendet werden kann. Eine Arbeitsgruppe, die eine Risikobewertung durchführt kann eine andere Einteilung vornehmen, z. B. mit mehr Kategorien.

Jedoch sollte die gewählte Klassifizierung die Risikomatrix nicht übermäßig verkomplizieren *[Ref 28].*



Abb. 4-4 Risikomatrix für die Charakterisierung and Visualisierung existierender und/oder verbleibender Risikopotentiale

Tabelle 4-1 Beispiel für die Risikocharakterisierung – Wahrscheinlichkeiten

Notation	Frequency range
Extremely unlikely	**<10^{-6} per year**
Very unlikely	**10^{-6} to 10^{-4} per year**
Unlikely	**10^{-4} to 10^{-2} per year**
Improbable	**10^{-2} to 1 per year**
Probable	**> 1 per year**

Tabelle 4- 2 Beispiel für die Risikocharakterisierung – Schweregrade

CONSEQUENCES					
Category	**minor**	**significant**	**servere**	**major**	**catastrophic**
Human beings	light injury	injury	severe injury	disablement, death	death
Environment	olfactory pollution, elevated emissions (short time)	long lasting olfactory pollution, slightly increased emissions	emission of toxic substances of little amounts	emission of toxic substances of amounts	emission of toxic substances of huge amounts
Property/goods	no plant shut down, online reparation possible, little costs	plant stop, warm start possible, standstill of the plant < 2 days	plant damage, cold start necessary, standstill of the plant 1 to 3 weeks	critical plant damage concerning the whole plant or plant sections, standstill of plant > 8 weeks	enormous plant destruction/damage concerning the whole plant

Die Risikomatrix ist in drei Bereiche unterteilt *[Ref 27]*:

- *Bereich der akzeptierbaren Risiken*

  Die Risiken, die diesem Bereich entsprechen, werden generell als unbedeutend betrachtet und als angemessen beherrscht angenommen. Die Höhe des Risikos, die diesen Bereich charakterisiert, ist vergleichbar mit derjenigen, die Menschen als unbedeutend oder trivial für ihr eigenes tägliches Leben ansehen. Diese Art von Risiken geht typischerweise von Aktivitäten aus, die selbst nicht sehr gefährlich sind oder von gefährlichen Aktivitäten, die einfach zu kontrollieren sind, um so die Gefahr gering zu

halten. Weiterer Anstrengungen zur Verringerung der Risiken bedarf es meist nicht.

- *ALARP Bereich (= engl. “as low as reasonably practicable)”; Bereich der “so niedrig, wie vernünftigerweise praktikablen”) Risiken*

  Risiken, die in diesen Bereich Fallen sind in der Regel solche, die Menschen für den verfolgten Nutzen hinzunehmen bereit sind, solange die Art und Höhe der Risiken genau abgeschätzt wurden und wenn als Resultat einer Untersuchung geeignete Maßnahmen zur Beherrschung festgelegt wurden. Wenn gefährliche Ereignisse dem ALARP-Bereich entsprechen, bedeutet es nicht, dass das Gesamtrisiko der Anlage in diese Kategorie fällt, sondern es sollte in Betracht gezogen werden, ob weitere risikomindernde Maßnahmen notwendig sind.

  Für das verbleibende Risiko des ALARP-Bereichs könnten weitere Sicherheitsmaßnahmen wirtschaftlich nicht gerechtfertigt und vertretbar sein. In allen Fällen muss das Risikobewertungssteam die folgenden Punkte erörtern:

  - Ist das verbleibende Risiko akzeptabel?
  - Können zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um die Höhe des Risikos zu senken?

  Die Risiken, die dieser Kategorie entsprechen, sollten regelmäßig überprüft werden, um sicher zu stellen, dass sie immer noch die ALARP-Bedingungen erfüllen.

- *Bereich der inakzeptabelen Risiken*

  Die Risiken dieser Region sind inakzeptabel und müssen durch geeignete Gegenmaßnahmen auf ein Niveau reduziert werden, das mindestens dem ALARP-Bereich entspricht.

4.5 Maßnahmen zur Risikominderung

Ein inakzeptables Risiko macht die Anwendung von Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich, die das Restrisiko in den ALARP-Bereich der Risikomatrix verlagert. In der Praxis erreicht man dies durch die Verringerung der Häufigkeit und/ oder des Schweregrades eines gefährlichen Ereignisses oder einer Bedrohung.

Zu diesem Zweck kann ein "Fliegen-Diagramm", wie in Abbildung 4-5 dargestellt, verwendet werden. Die Spalte ‘oberstes Ereignis‘ des Fliegen-Diagramms kennzeichnet die Störung der gerade untersuchten Funktion. Diese Technik ist flexibel; somit lässt sich jedes Ereignis als ‘oberstes Ereignis‘ einsetzen. Die Spalten zur linken und rechten Seite vom ‘obersten Ereignis‘ enthalten die Auslöser und Auswirkungen eines ‘obersten Ereignisses‘. Das Diagramm kann bei der Entscheidung behilflich sein, was getan werden muss, um das Risiko auf ein akzeptabeles Niveau zu reduzieren. Dazu werden sogar ‘Sicherheitsbarrieren‘ im Diagramm dargestellt (Abb. 4-5):

- Die ‘Sicherheitsbarrieren ‘ zwischen der Spalte ‘gefährliches Ereignis’ und die Spalte ‘oberstes Ereignis‘ entsprechen *vorbeugenden Maßnahmen,* die zur Minderung der Häufigkeit des Auftretens des gewählten ‘obersten Ereignisses‘ führen.
- Die ‘Sicherheitsbarrieren‘ zwischen dem ‘obersten Ereignis‘ und der Spalte ‘Auswirkungen’ enthält *auswirkungsbegrenzende Maßnahmen,* die zur Minderung

des Schweregrades der Folgen eines gefährlichen Ereignisses und/oder der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens führen.

Gegenmaßnahmen unterschiedlicher Art können angewandt werden:

- *Technische Gegenmaßnahmen:* Die Durchführung von technischen Veränderungen, z. B. im Prozess-Design, und das Hinzufügen oder Austauschen einiger Glieder der Prozesskette, etc.
- *Gegenmaßnahmen der Prozessregelung (PLT-Gegenmaßnahmen):* Diese beziehen sich auf jegliche Änderung der Abläufe des Regelungs- bzw. Prozessleitsystems. Dies kann durch Hinzufügen von neuen Überwachungseinrichtungen in der Prozesskette geschehen (z. B. Temperatursensoren, Druckmessgeräte, CO-Sensoren, etc.), die mit geeigneten Warn- und Alarmsystemen ausgestattet sind. Mit der Einführung neuer Warn- und Alarmierungseinrichtungen muss die Einrichtung eines geeigneten Systems für das Notfallmanagement einhergehen.
- *Organisatorische Gegenmaßnahmen:* Diese betreffen sämtliche Aktivitäten, die in Zusammenhang mit der Arbeitsorganisation stehen.

Alle Gegenmaßnahmen müssen in der Betriebsanleitung dokumentiert sein. Aus diesem Grund ist das Verfahren zur Risikobewertung kein direkter, linearer Prozess [22]. Tatsächlich kann die Umsetzung von Gegenmaßnahmen das ursprüngliche Verfahren verändern. Es können neue gefährliche Ereignisse entstehen. Eine Neubewertung der Risiken für das veränderte Verfahren kann notwendig sein.

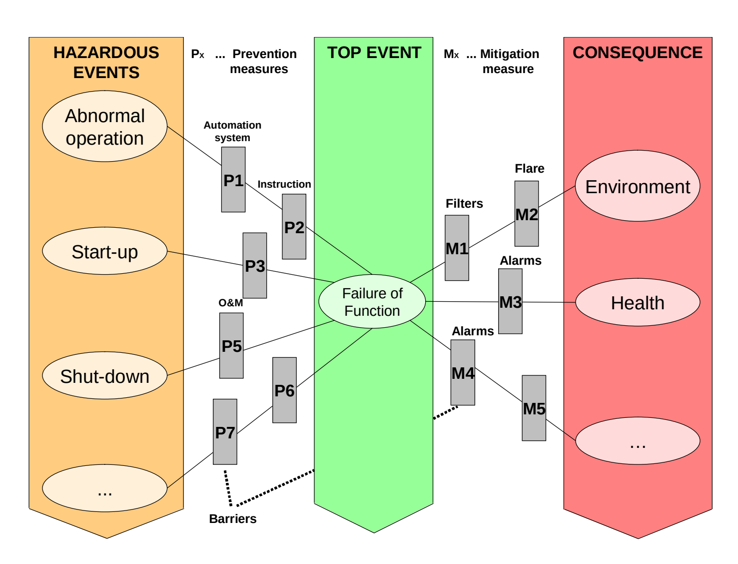


Abb. 4-5 "Fliegen-Diagramm" für die Risikobewertung

4.6 Dokumentation der Ergebnisse einer Risikobewertung

Die Dokumentation der Ergebnisse einer Risikobewertung und der entsprechenden Maßnahmen zur Risikominderung sind unerläßlich für die Rückverfolgbarkeit. Dies wird in aller Regel in Form einer Tabelle mit strukturierten Listen der Ereignisse und die zugehörigen Konsequenzen dargestellt. Eine derartige Methode kann mit Hilfe von Computer-Software realisiert werden, was erheblich dabei helfen kann, die Dokumentation zu strukturieren und Querverweise zu wiederkehrenden Ereignissen und ihren Folgen zu erstellen.

4.7 Software-Tool für die Risikobewertung

Ein Software-Tool (RISK ANALYSER genannt) ist entwickelt worden, um die Durchführung der Risikobewertung, die in diesem Leitfaden vorgeschlagen wird, zu vereinfachen. Die HSE Belange von kleinen Biomassevergasungsanlagen können auf sehr strukturierte Art und Weise behandelt werden, wenn die Beurteilung mithilfe des Software-Tools durchgeführt wird. Die Zielgruppen des Software-Tools sind in erster Linie die Hersteller, Projektentwickler, Betreiber, Forscher, und Errichter von Biomassevergasungsanlagen. Die Software kann auch bei anderen Verfahrensarten als der Biomassevergasung angewendet werden.

Durch die Software wird ein empfehlenswertes Verfahren zur Risikobewertung umgesetzt, das sich für die Anwendung in kleinen Biomassevergasungsanlagen eignet und ausreichend ist. Die ausgewählte Methode, die weiter oben vorgestellt wurde, basiert auf einer HAZOP-Studie und wurde um bestimmte Merkmale erweitert, die speziell auf Biomassevergasungsanlagen zutreffen.

Das Verfahren zur Risikobewertung mithilfe des Software-Tools geht in folgenden Schritten vor:

1. *Grunddaten der Anlage definieren*
   Die grundlegenden Informationen der untersuchten Anlage sind bekannt (Name des Projekts, Anlagenhersteller, Betreiber, Leistung der Anlage, etc.)
2. *Prozesseinheiten definieren*
   Die Anlage wird in Prozesseinheiten unterteilt, die im Allgemeinen den einzelnen Prozessschritten entsprechen – z. B. Vergaser, Gaskühlung, Gasreinigung, Gasaufbereitung und Gasnutzung.
3. *Funktionen definieren*
   Die Funktionen der einzelnen Prozesseinheiten müssen definiert werden (z. B. die Brennstoffversorgung für den Vergaserabschnitt). Sie stellen die Ausgangsdaten für die Risikobewertung dar.
4. *Betriebsarten definieren*
   In diesem Schritt wird eine kurze Beschreibung der vorgesehenen Betriebsarten verlangt (An- und Abfahren, Normalbetrieb und Notabfahrbetrieb). Dies hilft dabei, die speziellen Gefahren in den verschiedenen Betriebsarten zu identifizieren.
5. *Programmmodule definieren*
   Die Funktionen werden durch dedizierte Programmmodule erfüllt, die definiert werden müssen. Dies erfordert Informationen über:
   - Auslegungsparameter (Druck, Temperatur, Fliessgeschwindigkeiten, etc. für alle Betriebsbedingungen sowie ihre Minimal- und Maximalwerte);
   - Informationen über Betriebsmittel und Zusatzstoffe (Sicherheitseigenschaften, Betriebstemperaturen und -drücke der verwendeten Stoffe, etc.);
   - Textfeld für zusätzliche Informationen, falls erforderlich (optional).

   Diese umfassende Dokumentation der Informationen dürfte alle notwendigen Grundlagen für die weitere Risikobewertung bereitstellen.
6. *Risikobewertung*
   Das Programm unterstützt die Risikobewertung durch Voreinstellungen von möglichen Ereignissen und Folgen. Durch die Software erfolgt eine Einstufung des Risikopotentials gemäß der vorgeschlagenen Risikomatrix.
   Wichtiger Hinweis: Bei dieser ersten Risikobewertung wird das ursprüngliche Anlagen- und Betriebskonzept untersucht. Gegenmaßnahmen zur Risikominderung kommen erst im nächsten Schritt hinzu.

7. *Gegenmaßnahmen*
   Das Festlegen von Gegenmaßnahmen wird durch das Software-Tool unterstützt und die Möglichkeit einer Neubewertung der revidierten Prozesskonfigurationen gegeben. Die Beschreibung von Gegenmaßnahmen erlaubt ihre Einteilung in Kategorien (technische, prozesssteuerungs und organisatorische Gegenmaßnahmen). Eine Bearbeitung des Betriebsverfahrens ist möglich. Automatisierte Maßnahmen der Prozesssteuerung können für jede Betriebsart dokumentiert werden.
8. *Zusammenfassung*
   Die Zusammenfassung ist der abschließende Schritt. Es gibt einen Überblick über das ursprüngliche Anlagenkonzept (vor der Anwendung von Gegenmaßnahmen), über seine Funktionen und Betriebsteile. Die Ergebnisse der Risikobewertung werden für jede untersuchte Prozessfunktion dokumentiert, einschliesslich der durch Gegenmaßnahmen eingetretenen Verbesserungen.

Im Anschluss an die Risikobewertung des Gesamtprozesses kann ein Bericht erstellt werden. Dieser kann als Dokumentation der Risikoanalyse verwendet werden.

5 Potenzielle Gefahren und bewährte Verfahren

5.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt kurz die potentiellen Gefahren, die mit der Auslegung, dem Betrieb und der Instandhaltung von Biomassevergasungsanlagen (BVA) verbunden sind. Es ist eine notwendige Voraussetzung für den gesamten Vorgang der Risikobewertung, zuerst die Gefahren zu analysieren, um anschließend die daraus resultierende Risiken zu bewerten und festzulegen, welche Verbesserungsmaßnahmen ggf. angewendet werden sollen.

Es gehört den bewährten Verfahren (d.h. zur guten Praxis), eine Vielzahl von technischen Grundsätzen ("bewährten Ingenieurverfahren") hierarchisch bei der Gestaltung und Auslegung einer Anlage anzuwenden. Eine Gefahrenquelle zu beseitigen hat Vorrang vor technischen Schutzmaßnahmen zur Beherrschung der Gefahr, und diese wiederum haben Vorrang vor der Bereitstellung von persönlicher Schutzausrüstung.

Ein ganzheitlicher Ansatz ist hier wichtig, damit die Maßnahmen, die sich auf eine Gefahr richten, nicht aufgrund weiterer Gefahren das Gesamtrisiko unverhältnismäßig erhöhen oder die damit verbundenen Maßnahmen zur Risikobeherrschung beeinträchtigen. Wo es angebracht ist, sollte das Gleichgewicht zwischen dem Risiko für Mitarbeiter und dem Risiko für die Öffentlichkeit berücksichtigt werden, sowie das erhöhte Risiko aufgrund von Maßnahmen, die während des normalen Betriebs ergriffen werden, um Risiken in einer Notsituation zu verringern.

Im Leitfaden “Guidance on ‘as low as reasonably practicable’ (ALARP) decisions in control of major accident hazards (COMAH)” wurden die folgenden drei wichtigen Prinzipien definiert *[Ref. 27]*:

1. Prinzip
"HSE geht von der Erwartung aus, dass geeignete Maßnahmen in Kraft sind, um allen wesentlichen Gefahren zu begegnen, und dass dabei zumindest verbindliche Regeln der Technik eingehalten werden, unabhängig von situationsbedingten Risikoeinschätzungen."

2. Prinzip
"Die Zone die zwischen den Bereichen der inakzeptablen und den weitestgehend akzeptierbaren Risiken ist der tolerierbare Bereich. Risiken diesen Bereichs sind typischerweise Risiken, die Menschen für einen angestrebten Nutzen auf sich zu nehmen bereit sind, und zwar in der Erwartung, dass …

- die Art und das Ausmaß der Risiken richtig bewertet wurden und die Ergebnisse sachgerecht zur Festlegung von Schutzmaßnahmen verwendet wurden;
- das Restrisiko nicht unnötig hoch ist und so niedrig gehalten wird, wie es vernünftigerweise praktikabel ist (das ALARP-Prinzip); und
- die Risiken wiederkehrend überprüft werden, um zu gewährleisten, dass sie den ALARP-Kriterien weiterhin entsprechen, beispielsweise durch die Ermittlung, ob weitere oder neue Schutzmaßnahmen eingeführt werden müssen, um zeitbedingten Veränderungen gerecht zu werden, wie z. B. neuen

Erkenntnisse hinsichtlich eines Risikos oder der Verfügbarkeit von neuen Techniken zur Minderung oder Vermeidung von Risiken."

3. Prinzip
"Sowohl die Höhe einzelner Risiken als auch die von der Tätigkeit oder dem Verfahren hervorgerufenen gesellschaftlichen Bedenken müssen bei der Entscheidung, ob ein Risiko akzeptabel, tolerierbar oder weitestgehend tolerierbar ist, in Betracht gezogen werden. Gefahren, die individuelle Risiken bewirken, gehen auch mit gesellschaftlichen Bedenken einher, die oft eine weitaus größere Rolle bei der Entscheidung spielen, ob ein Risiko akzeptierbar ist oder nicht."

5.2 Grundlegende Sicherheitsbetrachtungen

Berufsbedingte Gefahren hängen mit den Gefahren und Risiken zusammen, die mit bestimmten Berufen oder Arbeitsumfeldern einhergehen. Berufsbezogene Gesundheits- und Sicherheitsbelange sollten als Teil einer umfassenden Gefährdungsbeurteilung verstanden werden, die beispielsweise eine Gefahrenidentifizierungsstudie (HAZID), eine PAAG- bzw. HAZOP-Studie oder andere Risikobewertungsstudien beinhaltet. BVA weisen verschiedene berufsbedingte Gefahren unterschiedlicher Art auf, wie z. B. physische, chemische, biologische, mechanische und psychosoziale Gefahren, Umweltgefahren etc.
Die meisten der Gefahren sind nicht BVA-spezifisch, wie z. B. Rutschgefahr, Stolpern, Zusammenstöße, Absturz, Verletzung durch Gegenstände, Transport am Arbeitsplatz, Strom, Lärm, Vibrationen, Beleuchtung, Druckluft/Flüssigkeiten unter hohem Druck, beengter Raum, Kälte- oder Hitzestress, Quetschungen, Schnittverletzungen, Abschürfungen, Fahrzeugbewegung, Aufpralle, bewegliche Teile, arbeitsbedingter Stress, etc.
Der Betreiber einer Anlage muss diese arbeitsplatzbezogenen Gefährdungen sowie diesbezügliche nationale Arbeitsschutzvorschriften berücksichtigen und entsprechende Maßnahmen bei der Gestaltung der Arbeitsstätte ergreifen.
Die "Health and Safety Executive" (UK) stellt auf ihrer Webseite (**www.hse.gov.uk/**) eine Liste mit möglichen Gefahren bereit, die bei einer Arbeitsstätte berücksichtigt werden müssen. Hinweise zur Vorbeugung und zur Beherrschung dieser Gefahren werden ebenfalls angeboten.
Das auf dem Gebiet der Vermeidung von Berufsrisiken zuständige französische Institut (INRS) gibt ebenfalls Hinweise zu verschiedenen berufsbedingten Gefahren, und zwar auf der folgenden Webseite (Dokumente auf französisch):
www.inrs.fr/htm/frame_constr.html?frame=/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20840/$File/Visu.html
Vegleichbare Hinweise in deutscher Sprache ("Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb") sind auf der Webseite der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) erhältlich:
http://www.baua.de/nn_12456/de/Publikationen/Sonderschriften/2000-/S42.html?__nnn=true

Jede Berufstätigkeit bringt spezifische berufsbedingte Gefahren mit sich. Dieses Kapitel beleuchtet die spezifischen Gefahren des Vergasungsprozesses; dazu zählen: Brand, Explosion/Verpuffung, giftige Stoffe, etc.

Das Hauptaugenmerk dieses Kapitels liegt darauf, Maßnahmen aufzuzeigen, die aus Gründen des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes ergriffen werden müssen. Diese

Maßnahmen basieren auf dem vorhandenen Fachwissen innerhalb des Projekt-konsortiums, der Mitwirkung externer Berater, allgemein verfügbaren Informationen und den Erkenntnissen aus Fallstudien. Wie in Kapitel 1 bereits angesprochen, sind Interessenkonflikte zwischen den Mitgliedern verschiedener Zielgruppen denkbar, wie z. B. zwischen Endanwendern und Genehmigungsbehörden oder Herstellern und Anlagenbesitzern. Deshalb ist es notwendig, einen möglichst vollständigen Einblick in alle relevanten HSE-Fragen und in die nach internationalem Erkenntnisstand bewährten Auslegungs- und Betriebsweisen zu gewinnen.

5.3 Gute Auslegungs- und Betriebspraxis

Eine dem Stand der Technik entsprechende Auslegung und Ausführung, basierend auf einer angemessenen Risikobewertung und/oder HAZID/HAZOP-Studie, ist zwingend erforderlich, um eine Biomassevergasungsanlage auf dem Markt zu bringen. Die meisten Risikobewertungen bieten einen allgemeinen Überblick und sind nicht dazu gedacht, in jeder Hinsicht vollständig zu sein. Dies kann zu Fragen der Haftung führen und ein falsches Gefühl von Sicherheit vermitteln. Die folgenden Abschnitte geben eine allgemeine Übersicht über bewährte Betriebsweisen und gute Ingenieurpraxis. Diese müssen aber nicht zwingend auf jeden Vergasertyp zutreffen; so sind z. B. Sicherheitsfragen davon abhängig, ob ein Vergaser mit Über- oder Unterdruck arbeitet, etc.

5.3.1 Gute Auslegungspraxis für Anlagengebäude

Bei der Planung der Gebäude einer Vergasunganlage sollten einige Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltkriterien berücksichtigt werden, wie z.B:

- Das Brennstofflager muss vom Vergaseraufstellraum räumlich oder baulich (z. B. durch einen wirksamen Feuerschutzvorhang) abgetrennt sein.
- Aus Sicherheitsgründen (Brand- und Explosionsgefahren, Austritt giftiger Gase) müssen Leitwarten und Aufenthaltsräume von der übrigen Anlage getrennt sein
- Die Leitwarten sollten mit Überdruck belüftet werden (wobei auf eine geeignete Ansaugstelle für die Frischluft zu achten ist)
- Eine gute Belüftung des Vergaseraufstellraums muss sichergestellt sein, und in kritischen Bereichen der Anlage sollte der Luftstrom überwacht oder überprüft werden.
- Von jedem Punkt des Vergasergebäudes sollten zwei Rettungswege ins Freie führen.
- Die ATEX-Richtlinie verlangt, dass alle als explosionsgefährdet eingestuften Bereiche mit einem Warnschild gekennzeichnet werden (dreieckiges Schild, schwarzer Schriftzug "EX" auf gelbem Hintergrund), um vor den Zutritt zu Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre zu warnen. Es wird empfohlen, eine Untersuchung zur Festlegung solcher explosionsgefährdeten Bereiche durchzuführen.
- Anlagenteile, die einen bestimmten Lärmpegel überschreiten (Kompressoren, Gasmotoren), sollten in getrennten, schallisolierten Räumen aufgestellt werden.

5.3.2 Gute Auslegungspraxis für verfahrenstechnische Anlagenteile

Die Anwendung guter Auslegungspraxis ("Good Engineering Practice", GEP) im Hinblick auf verfahrenstechnische Apparate und Anlagenteile liegt in der Verantwortung des Herstellers. Wenn die Anlage ordnungsgemäß und nach den Grundsätzen der EG-Maschinenrichtlinie entworfen und gebaut wurde, sollten alle wesentlichen Gefahrenquellen beseitigt worden sein.

Werkstoffauswahl

- Reaktor, Behälter, Ventile, und Rohrleitungen sollten aus hochwertigen Werkstoffen gefertigt werden;
- Vergaser und Gaskühler sollten aus wärmebeständigem Edelstahl oder aus anderen geeigneten Werkstoffen hergestellt werden;
- Chemikalienbeständiger Edelstahl wird für den Bereich der Gaswäsche und die Leitungen und Behälter für Waschlösungen empfohlen.

Gasdichtheit

Gasdichtheit ist wichtig, um das Entweichen von Gasen und das Einströmen von Luft zu verhindern. Sonst kann es zur Bildung von explosionsfähigen Gemischen und/oder dem Entweichen von giftigen Gasen kommen. Folgende Maßnahmen sind geeignet, um Gasdichtheit zu gewährleisten:

- Schweißverbindungen sind gegenüber Flanschverbindungen zu bevorzugen, insbesondere bei über 500 °C heißen Rohrleitungen. Bei Flanschverbindungen sind geeignete, thermisch und chemisch beständige Dichtungswerkstoffe zu verwenden;
- Alle Rohre, Aggregate und Messgeräte müssen aus geeigneten Werkstoffen bestehen;
- Bei der Werkstoffauswahl sollten die chemische Beständigkeit sowie Temperatur, Druck, Korrosion und Teilchengröße berücksichtigt werden.

Absperr- und Regelorgane (Ventile, Klappen, Schieber)

- Sämtliche Lufteinlässe und Gasauslässe am Vergaser, einschließlich der Brennstoffaufgabe, zur Fackel und zum Gasmotor sollten mit doppelten Absperrorganen (in Reihe) oder mit Flammenrückschlagsicherungen ausgerüstet werden;
- Wenn Absperrorgane in Kontakt mit Pyrolyse- oder Generatorgas kommen, können sie verkleben;
- Absperrorgane, die bei Störungen oder im Falle einer Notabschaltung eine Sicherheitsfunktion haben, müssen fehlersicher ("fail-safe") ausgeführt sein;
- Absperrorgane an Luftleitungen, Filtern und Zyklonen sollten mit Endlagenschaltern ausgeführt werden;
- Falsche (Ein-)Stellungen handbetätigter Armaturen sollten nicht möglich sein. Fehlfunktionen kritischer Armaturen sollten erkannt werden.

Elektrische Einrichtungen

- Es wird empfohlen, alle gasführenden Anlagenteile zu erden.
- Speicherprogrammierbare Steuerungen sollten ordnungsgemäß geerdet sein, um Störungen zu vermeiden.
- Eine galvanische Trennung der Stromversorgung für Messgeräte wird dringend empfohlen.

- Es wird empfohlen, speicherprogrammierbare Steuerungen mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) auszustatten.
- Für den Anlagenbetrieb wichtige Messpunkte (kritische Temperaturen, Drücke etc.) sollten für Notfälle oder für den Fall, dass das Prozessleitsystem ausfällt, mit einem redundanten Messsystem überwacht werden.
- Die Gas-/Luft-Gemischzufuhr zum Motor sollte geerdet werden und abgeschirmte Leitungen sollten eingesetzt werden, um Spannungsüberschläge zu vermeiden, die zu einer Zündung im Einlasssystem führen könnten.
- Innnerhalb von Anlagenteilen, in denen explosionsfähige Gas-/Luftgemische auftreten können, sollten Messgeräte und elektrische Einrichtungen den Anforderungen der Zone 1 entsprechen; andernfalls sollten andere Schutzmaßnahmen vorgesehen werden.. Im Vergaser selbst sollten die Einrichtungen den Anforderungen der Zone 2 entsprechen. Es ist dringend zu empfehlen, eine Untersuchung zur Zoneneinteilung für jeden Bereich der Anlage vorzunehmen, da viele Anlagen für eine Aufstellung im Freien ausgelegt wurden und die Zoneneinteilung wesentlich von den Lüftungsbedingungen abhängt.
- Sicherheitsschalter und lokale Trennschalter sollten vorhanden sein an:
  - rotierenden Teilen;
  - Schalttafeln und Steuerpulten;
  - Druckentlastungseinrichtungen;
  - kritischen Absperrorganen an gasführenden Anlagenteilen wie z. B. an der Materialzufuhr, an Zyklonen und am Ascheaustrag.
- Ein elektrisches Not-Aus-System, das auf ganze Bereiche wirkt, sollte erwogen werden.

Warn-, Alarmierungs- und Schutzeinrichtungen

- In Räumen, in denen gasführende Anlagenteile mit Pyrolyse- oder Generatorgas vorhanden sind, müssen CO-Gasdetektoren vorhanden sein. Es wird empfohlen, die Vor- und Hauptalarmschwellen auf 25 bzw. 50 ppm CO einzustellen.
- Sicherheitsrelevante Druck- und Temperatursensoren sollten doppelt oder dreifach vorhanden sein. Die Ausfallwahrscheinlichkeit muss unter Berücksichtigung der Installations- und Betriebsbedingungen abgeschätzt werden.
- Gas-/Luft-Wärmeaustauscher stellen eine mögliche Gefahrenquelle dar, wenn Undichtheiten in den Leitungen durch thermische Spannungen oder Korrosion entstehen. Gefahren, die aus dieser Art der Funktionsstörung resultieren, sollten durch eine geeignete Apparateauslegung sowie durch abströmseitige Temperatur- und Sauerstoffsensoren vermieden werden, mit deren Hilfe Leckagen erkannt werden können Ähnliches gilt auch für Dehnungskompensatoren in langen geschweißten Rohrleitungen.
- Sicherheitseinrichtungen sollten gegen unbefugte Eingriffe geschützt werden.
- Vor dem Anfahren der Anlage sollten alle Alarmschwellen im Betriebshandbuch spezifiziert werden..
- Temperaturmessstellen sollten vor und hinter allen Hauptkomponenten der Anlage installiert werden. Empfohlene und zulässsige Betriebstemperaturen müssen für die Anlagenbediener im Handbuch nachlesbar sein und durch geeignete Alarmschwellen abgesichert werden.

Bewegliche oder rotierende Teile

- Bewegliche Teile, wie Förderbänder und Motoren, können potenzielle Zündquellen für Gasexplosionen darstellen. Sie sollten mit Schutzabdeckungen, gut sichtbaren Kennzeichnungen und Not-Aus-Einrichtungen versehen werden.

- Im Standby sollten das Gasgebläse und andere drehende Teile in der Produktgasleitung auf geeignete Weise geschützt werden. Andernfalls kann es durch Teerkondensation zur Korrosion oder zum Blockieren kommen, was zum Ausfall führt.

Heiße Oberflächen

- Heiße Oberflächen können an vielen Anlageteilen auftreten. Diese können eine Zündquelle für Gas- oder Staubexplosion darstellen, bergen aber auch ein Risiko bei ungewollter Berührung. Anlagenteile, die aufgrund ihrer hohen Oberflächentemperatur eine betriebliche Gefahrenquelle für die Beschäftigten darstellen, sollten gekennzeichnet und mit einem geeigneten Berührungsschutz versehen werden.
- Mitarbeiter sollten hinsichtlich der mit heißen Oberflächen verbundenen Gefahren und der Verwendung von Schutzkleidung (wie Handschuhe, isolierende Kleidung, etc.) geschult und unterwiesen werden.

Gasfackelsystem

- Die Gasfackel oder eine vergleichbare Einrichtung zur Verbrennung des Gases wird benutzt, wenn die Gasqualität für einen Einsatz im Gasmotor nicht ausreicht oder wenn eine Motorstörung vorliegt.
- Für den Fall, dass Ventile verkleben, die im Kontakt mit Pyrolyse- oder Generatorgas stehen, sollte das Gas automatisch abgefackelt werden.
- Beim Spülen des Leitungssystems zwischen Vergaser und Verbrennungsmotor müssen gase abgeleitet werden. Beim Anfahren der Anlage durchläuft das Gasgemisch in den Rohren immer den Bereich zwischen der unteren und der oberen Explosionsgrenze.
- Das Gasfackelsystem sollte ausgestattet sein mit:
    - einer automatischen Zündung,
    - einer Flammenüberwachung und
    - einer Wasservorlage (Wassertasse).

Es wird empfohlen, eine HAZOP-Studie durchzuführen, um ein Verständnis für die Sicherheitsanforderungen des Gasfackelsystems zu gewinnen und um geeignete Maßnahmen abzuleiten, wie z. B. die Spülung mit Inertgas.

Sicherheitseinrichtungen

Folgende Einrichtungen oder Hilfsmittel sollten in jedem (Gebäude-)Teil der Vergasungsanlage vorhanden sein:

- Einrichtungen zur Branderkennung und Brandbekämpfung, die international anerkannten Vorgaben entsprechend der Art und Menge der auf dem Gelände vorhandenen brennbaren Stoffe entsprechen;
- CO-Gasdetektoren;
- Geräte zur Brandbekämpfung;
- Persönliche Schutzausrüstung: Gehörschutz, Schutzbrillen, Schutzhandschuhe, Atemschutzgeräte, tragbare CO-Warngeräte;
- Notfalleinrichtungen: Notduschen, Verbandkästen

5.3.3 Empfehlungen für Betriebsabläufe und Überwachung

Wichtige Betriebsabläufe die untersucht werden müssen, sind das Anfahren der Anlage (kalter/heißer Start), der Normalbetrieb, das normale Abfahren der Anlage und das Abfahren im Notfall. Diese Betriebsabläufe sollten in der HAZOP-Studie untersucht und im Betriebshandbuch beschrieben werden.
Es wird empfohlen, für den Betrieb der gesamten Vergasungsanlage automatisierte Prozeduren zu entwickeln und zu implementieren (Vorheizen, Zündung des Vergasers, Normalbetrieb etc.), um Bedienungsfehler im manuellen Betrieb zu vermeiden. Fehlersichere Prozeduren müssen ein Teil des Bedienungskonzepts sein.

Normale Abläufe beim An- und Abfahren der Anlage

- Beim Anfahren der Anlage ist zu empfehlen, den in der Anlage vorhandenen Sauerstoff durch Inertisierung des Systems (z. B. mit Stickstoff) zu entfernen.
- Erfahrungsgemäß passieren die meisten Unfälle beim An- oder Abfahren. Daher sollten Mitarbeiter angewiesen werden, sich in diesen Phasen nicht unnötig in der Nähe von Anlagenteilen mit entzündlichen Materialen aufzuhalten (Vergaser, Zyklonbehälter, Filter, etc.).
- Beim An- und Abfahren der Anlage und in Fällen, wenn gasberührte Ventile aufgrund von Verklebung nicht ordnungsgemäß arbeiten, muss das Gas abgefackelt werden.
- Wenn der Gasmotor aus irgendeinem Grund abgeschaltet werden muss, sollte die Prozesssteuerung das noch vorhandene Gas unmittelbar zur Fackel ableiten. Nach zwei vergeblichen Neustartversuchen des Motors sollte die Notabschalt-prozedur eingeleitet werden.

Normale Betriebsabläufe

- Die Vorgehensweise bei manuellen Eingriffen während des Normalbetriebs der Anlage sollte im Betriebshandbuch ausführlich dargestellt werden.

Notabfahrvorgang

- Die in der HAZID- oder HAZOP-Studie aufgezeigten Auswirkungen müssen bei der Erarbeitung des Betriebshandbuchs und des Prozessleitsystems berück-sichtigt werden. Die Notabfahrprozeduren müssen daher auf die spezifischen Bedingungen der einzelnen Anlagen angepasst werden.
- Ein typischer Notabfahrvorgang umfasst folgende Elemente:
    - Unterbrechung der Materialzufuhr zum Vergaser;
    - Unterbrechung der Luftzufuhr zum Vergaser;
    - Ableitung des Gases zur Fackel;
    - Anmerkung: Die Inertisierung des Vergasers mit Stickstoff ist in diesem Fall nicht wirksam, da der Vergaser üblicherweise eine große Menge Brennstoff und Holzkohle enthält.
- Es müssen Vorgaben für den Fall einer Räumung der Anlage gemacht werden.
- Über das richtige Verhalten in Räumungs- und Notfallsituationen müssen Besucher und Betriebsangehörige beim Betreten der Anlage bzw. vor der Arbeitsaufnahme unterrichtet werden.

Instandhaltung der Anlage

- Prüf- und Wartungspläne sollten für Prüfungen beim Anfahren der Anlage und für die wiederkehrende Überprüfung von Messgeräten (auch bei ordnungsgemäßer

Funktion) aufgestellt werden. Wenn z. B. Drucktransmitterleitungen mit Teer oder Staub verstopft sind, zeigen die Druckmessgeräte falsche Werte an. .

- Es muss verhindert werden, dass Mitarbeiter bei der Anlageninstandhaltung in Kontakt mit giftigen Stoffen kommen oder giftige bzw. erstickende Gase einatmen. Alle Instandhaltungsprozeduren sollten in Form von Betriebsanweisungen dokumentiert sein; die Mitarbeiter sollten diesen Anweisungen folgen.

5.3.4 Zusätzliche Vorkehrungen

Die folgenden ergänzenden Maßnahmen sollten zusätzlich ergriffen werden:

- Betreiber sollten sich der Tatsache bewusst sein, dass die Kondensation von teerartigen Verbindungen und von Wasserdampf in Generatorgasleitungen, Reaktorbehältern und Ventilen eine häufig vorkommende Erscheinung darstellt. Bei der Gestaltung der Anlage und bei der Festlegung von Instandhaltungsmaßnahmen sollte dies berücksichtigt werden. Dem Betriebspersonal sollte eine klare Vorstellung von der Auswirkung von Temperatur und Druck auf die Kondensation dampfförmiger Komponenten vermittelt werden.
- Im Brennstoff–Luft-Gemisch vor dem Gasmotor kann es zur Kondensation kommen, wenn die Außentemperatur niedrig oder die Luft sehr feucht ist. Das Kondensat kann Klopfen verursachen, wodurch der Motor beschädigt wird. Es empfiehlt sich, die Lufttemperatur und Luftfeuchte am Eintritt in den Gasmischer zu überwachen und, wenn nötig, die Verbrennungsluft vorzuwärmen. Bei modernen Motoren mit elektronischer Steuerung ist dies weniger relevant.
- Anlagenkomponenten sollten so beschaffen sein, dass sie sowohl einem Überdruck als auch einem Unterdruck standhalten, beispielsweise dem vollen Saugdruck des Hauptgasgebläses. Nach Abschaltung der Anlage kann sich durch Abkühlung ein Unterdruck einstellen.

5.4 Sicherheitsaspekte in der Betriebspraxis

Verschiedene gefährliche Ereignisse mit unterschiedlichen Auswirkungen können in einer Biomassevergasungsanlage auftreten. Anhang A enthält hierzu eine Checkliste. Die größten Gefahren während des Betriebs und/oder der Instandhaltung von Vergasungsanlagen umfassen:

- Erstickungs- und Vergiftungsgefahr, z.B. beim unvorhergesehenen Austritt von gefährlichen Gasen und Flüssigkeiten;
- Explosions- und Verpuffungsgefahren;
- Brandgefahr;
- Bedienungsfehler.

In den nächsten Abschnitten wird eine Beschreibung der einzelnen Gefährdungen wie folgt gegeben:

- wann und wo treten diese Gefährdungen auf;
- was kann geschehen / potenzielle Auswirkungen, und
- mögliche Gegenmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik.

5.4.1 Explosion / Verpuffung

Wann:

- Gasexplosionen in BVA können auftreten, wenn ein Gemisch aus brennbaren Gasen (hauptsächlich CO, H_2 und größere Kohlenwasserstoffe) und Sauerstoff, innerhalb der Explosionsgrenzen mit einer wirksamen Zündquelle zusammentrifft.
- Das Innere einer Vergasungsanlage durchläuft routinemäßig den Explosionsbereich zwischen der unteren Explosionsgrenze (UEG) und der oberen Explosionsgrenze (OEG). Die Sauerstoffgrenzkonzentrationsgrenze ist abhängig von der Produktgaszusammensetzung, vom Feuchtegehalt, von der Temperatur und vom Druck. Für Wasserstoff und Kohlenmonoxid liegt die Sauerstoffgrenzkonzentration bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck bei ungefähr 4%. Gefährliche Situationen können insbesondere beim An- und Abfahren der Anlage sowie in Notsituationen mit unkontrolliertem Lufteintritt (z. B. aufgrund von Leckagen) entstehen.
- Eine explosionsfähige Dampfwolke kann sich bilden, wenn (leicht) entzündbare Flüssigkeiten auslaufen. Dies ist abhängig von der Flüchtigkeit der Flüssigkeit, ihrem Flammpunkt und der Dichte des Dampfes.
- Staubexplosionen von kleinen Biomasse- und Kohlepartikeln können sich in BVA ereignen, wenn ein Gemisch aus Staub und Luft in der richtigen Konzentration auf eine Zündquelle trifft. Die Heftigkeit der Explosion hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab, unter anderem von der Größe der Staubpartikel und dem Grad der Verdämmung innerhalb eines Gebäudes.
- Besondere Aufmerksamkeit ist hybriden Gemischen zu widmen, bei denen eine Kombination aus brennbarem Gas und Staub vorliegt.
- Zu den möglichen Zündquellen zählen u. a. Funken bei elektrostatischen Entladungen, glühende Partikel (Kohle, unvollständig verbrannte Biomasse), Blitzeinschläge, elektrische oder mechanische Funken, (z. B. vom Elektromotor eines Gebläses), Heißarbeiten (Schweissen, Schneiden, Schleifen, Sägen), heiße Oberflächen, Selbstzündung in Staubschichten und offene Flammen.
- Oberhalb von 600-650°C kann sich das Produktgas der Vergasung bei Kontakt mit Luft von selbst entzünden. Wenn bei dieser hohen Temperatur eine kleine Menge Luft dem Produktgas zugeführt wird – oder umgekehrt –, findet an der Gas-Luft-Grenzfläche eine ruhige Verbrennung statt. Wenn Gas und Luft ohne sofortige Reaktion vermischt werden können und anschließend durch eine externe Zündquelle wie einen Funken oder ein glühendes Partikel entzündet werden, kann eine Gasexplosion stattfinden. Die Reaktonsgeschwindigkeit und das Druckmaximum hängen dabei vom Grad der Turbulenz und von der Verdämmung des Gasgemischs ab.

Wo:

- In Bereichen der Anlage mit Überdruck gegenüber der Atmosphäre (z. B. hinter einem Gebläse) besteht das Risiko, dass Gas in die Umgebung entweicht, was zur Bildung einer giftigen Atmosphäre, zu einem Brand oder zu einer Explosions außerhalb des betreffenden Anlagenteils führen kann. In ähnlicher Weise besteht bei Anlagenteilen mit innerem Unterdruck das Risko eines Lufteintritts, so das sich eine Explosion innerhalb des Anlagenabschnitts ereignen kann.
- Zurückströmendes Generatorgas ist eine potentielle Gefahr, wenn die Ventile nicht ordnungsgemäß funktionieren.

- Obwohl der Vergaser bei unterstöchiometrischen Bedingungen betrieben wird, können lokal erhöhte Sauerstoffkonzentrationen auftreten, was zu einem schnellen Temperaturanstiegoder zur Bildung expolosionsfähiger Gemische führen kann. Bei hohen Temperaturen verringert sich jedoch der maximale Explosionsdruck, und eine klassische "Verpuffung" (Deflagration mit niedriger Verbrennungsgeschwindigkeit) kann autreten.
- Im Bereich der Gasreinigung können aufgrund des großen Gasvolumens heftigere Explosionen auftreten. Als Zündquellen kommen zumeist glühende Kohlestückchen oder heiße Aschepartikel in Betracht, die mit dem Rohgas eingetragen werden.
- Ein Flammenrückschlag an der Gasfackel kann dazu führen, dass die Flamme bis in den Bereich der Gasreinigung zurückläuft.
- In der Gaszufuhr zum Motor kann es bei Fehlzündungen des Motors ebenfalls zu Explosionen kommen.
- Im Bereich des Ascheaustrags sind Zündungen möglich, wenn kohlenstoffreiche Asche erzeugt wurde;
- Bei Reparaturen, speziell bei Heißarbeiten (Schweißen, Trennen, Schleifen, Sägen), können Explosion eintreten, wenn noch brennbares Gas im System vorhanden ist.
- Im Bereich der Brennstofflagerung, der Brennstoffaufgabe und überall dort, wo übermäßige Staubablagerungen vorhanden sind, kann es in Abhängigkeit von der verarbeiteten Biomasse und der Größe der Partikel bei der Bildung von Staubwolken zur Explosion kommen.
- Beachtung sollte der Lagerung und Zuleitung von Hilfsmedien wie z. B. Erdgas oder Propangas geschenkt werden, da diese unter erhöhtem Druck gelagert werden und das Risiko einer Freisetzung (Leckage) besteht.

Was kann geschehen:

- In den meisten Fällen tritt eine schwächere Explosion, eine sogenannte Verpuffung auf. Diese wird z. B. durch "instabilen" Vergaserbetrieb verursacht, durch den für kurze Zeit lokal ein explosionsfähiges Gemisch entsteht.
- Aus der Theorie und Praxis ist bekannt, daß der Explosionsdruck im System von der Zusammensetzung des Produktgases abhängt sowie von der Temperatur an der Stelle, an der die Explosion oder Verpuffung stattfindet.
- Der maximale Explosionsdruck von (Holz-)Staub-Luft-Gemischen ist ähnlich demjenigen von Gemischen brennbarer Gase mit Luft. Die mögliche Schwere einer Staubexplosion ergibt sich hier hauptsächlich aus dem großen Volumen des zündfähigen Gemisches, wenn sehr große Staubmengen aufgewirbelt werden können. Der Explosionsdruck ist generell abhängig vom Grad der Verdämmung, die – im Fall von BVA – im Inneren der Anlageteile am größten ist; dort sind jedoch hauptsächlich Gase vorhanden (und nicht Stäube).
- Eine Gas- oder Staubexplosion kann dem Gebäude, der Ausrüstung und anwesenden Personen erhebliche Schäden zufügen.
- Eine Gas- oder Staubexplosion kann einen Folgebrand verursachen.

Maßnahmen zur Verringerung der Explosionsgefahren

Die folgenden Maßnahmen gelten speziell für Vergasungsanlagen:

  - Vergasungsanlagen sollten entsprechend internationaler Standards zur Vermeidung und Beherrschung von Brand- und Explosionsgefahren ausgelegt, gebaut und betrieben werden. Für ausreichende Sicherheitsab-

stände zwischen den Behältern innerhalb der Anlage sowie zwischen der Anlage und benachbarten Gebäuden sollte Sorge getragen werden.
- Sicherheitskonzepte für den Betrieb und die Instandhaltung der Anlage müssen umgesetzt werden. Dies sollte die Verwendung fehlersicherer Absperrarmaturen sowie von Notabschaltungs- und Warneinrichtungen einschliessen.

Gemäß der ATEX-Richtlinie gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten, um das Risiko einer Explosion zu reduzieren:
- Primäre Maßnahmen, die darin bestehen, das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden,
- Sekundäre Maßnahmen, die die Vermeidung von Zündquellen beinhalten, und,
- Tertiäre Maßnahmen, die der Begrenzung der Auswirkungen von Explosionen dienen.

Außerdem sollten allgemeine Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

- Primäre Maßnahmen: Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären
  - In Bereichen der Anlage, in denen Überdruck herrscht, führen Gaslecks dazu, dass CO und H_2 in die Atmosphäre entweichen. Andersherum strömt bei Unterdruck Luftsauerstoff in die Anlage ein. Deshalb muss ein Sauerstoffsensor installiert werden, der den O_2-Gehalt innerhalb der Anlage überwacht, und CO-Sensoren, die den CO-Gehalt außerhalb der Anlage messen. Die maximal zulässige Sauerstoffkonzentration am Ort der Sauerstoffmessung muss unter Berücksichtigung der ermittelten Zündgrenzen und der durch die Anlagengeometrie bedingten Vermischungseffekte festgelegt werden. Hier wird auf die BGR 104[7] verwiesen, in der auch bewährte Verfahren bezüglich geeigneter Flanschverbindungen, Dichtungen etc. beschrieben sind.
  - Beim Anfahren der Anlage können explosive Atmosphären dadurch vermieden werden, dass die Anlage im Verbrennungsmodus betrieben oder mit Stickstoff gespült wird.
  - Nach dem Abfahren und der Abkühlung sollte das gesamte System mit Stickstoff inertisiert werden. Die Spülung mit Luft wird auch angewandt, ist aber nicht zu empfehlen, da in diesem Fall (als sekundäre Schutzmaßnahme) alle Zündquellen vorher beseitigt werden müssen.
  - Die Vermeidung von Staub ist wichtig, um der Entstehung explosionsfähiger Atmosphären vorzubeugen:
    - Sauberkeit und Ordnung sind ein wesentliches Mittel zur Verhinderung von Staubexplosionen. Dies schließt die regelmäßige Reinigung des Bodens und die Entfernung von Staubablagerungen ein.

---

[7] BG-Regel 104 „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“

- Der gesamte Aufstellungsbereich sollte gut belüftet sein.
- Ggf kann auch die Spülung der Anlage mit Inertgas in Betracht kommen.

➢ Sekundäre Maßnahmen: Beseitigung von Zündquellen:
  - Durch ordnungsgemäße Erdung lassen sich Gefahren durch elektrostatische Aufladung und Blitzschlag vermeiden. (Dies schließt Anweisungen für die Benutzung und Instandhaltung der Erdungssysteme ein.)
  - Die Verwendung eigensicherer elektrischer Installationen und funkenfreier Werkzeuge wird empfohlen.
  - Die Einführung eines Arbeitserlaubnisverfahrens (Freigabeverfahrens) für sämtliche Heißarbeiten (Schweißen, Trennen, Schleifen, Sägen) wird dringend empfohlen, insbesondere für Instandhaltungsarbeiten. Entzündliche Stoffe und explosionsfähige Gemische müssen vor Beginn solcher Arbeiten entfernt und ihr Auftreten während der Arbeiten verhindert werden. Dies schließt die sachgerechte Reinigung und Belüftung von Behältern ein.
  - Ein Flammenrückschlag von der Gasfackel kann durch den Einsatz einer Wasservorlage verhindert werden, die als Flammensperre wirkt (siehe hierzu EN 12874).
  - Zoneneinteilung: Die Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Ex-Zonen ist erforderlich, um die zulässige Kategorie der eingesetzten Geräte festlegen zu können. Wenn Ex-Zonen festgelegt worden sind, ist es in einem zweiten Schritt notwendig, alle potentiellen Zündquellen in diesen Bereichen zu ermitteln und zu bewerten. Die Zoneneinteilung von Bereichen, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphären auftreten können, muss gemäß der ATEX-Richtlinie 1999/92/EC durchgeführt werden. Folgende Anlagenbereiche sollten dabei berücksichtigt werden[8].
    - Brennstofflagerung und -transport (im Hinblick auf Staubexplosionen);
    - Brennstoffaufgabe;
    - Asche- und Staubaustragssystem;
    - Abwassersystem;
    - Gasfackel und Hilfsbrenner (u.a. im Hinblick auf Fehlzündungen);
    - Gasmotor und Abgassystem;
    - Mann- und Handlöcher sowie Probenentnahmestellen;
    - Messstellen;
    - Flüssiggastanks oder -flaschen.

Die Zoneneinteilung entspricht einer risikoorientierten Vorgehensweise. Eine eingehende Untersuchung zur Festlegung der zutreffenden Ex-Zone für jeden Bereich wird dringend empfohlen, da viele Anlagen ursprünglich für den Betrieb im Freien ausgelegt wurden und die (Gebäude-)Lüftung großen Einfluss auf die Zoneneinteilung hat.

➢ Tertiäre Maßnahmen, die für Vergasungsanlagen geeignet sein können:
  - Explosionsfeste Auslegung des gesamten Systems: Bei einem einzelnen, nicht verbundenen Behälter beträgt der abgeschätzte maximale Explosionsdruck ungefähr 8 bar. Bei miteinander verbundenen Behältern muss bei der Abschätzung des maximalen Explosionsdrucks jedoch zusätzlich der druckerhöhende Effekt einer möglichen Vorverdichtung berücksichtigt werden.

  - o Flammenrückschlagsicherungen, vorzugsweise in der Bauform von Wasservorlagen (Wassersperren);
  - o Explosionsdruckentlastungseinrichtungen zur Verringerung des Explosionsdrucks[9]

- ➢ Weitere allgemeine Maßnahmen:
  - o Es sollte ein Rauchverbot im Bereich der Anlage herrschen. Verbotsschilder müssen angebracht und die Mitarbeiter entsprechend unterwiesen werden.
  - o Beim Anfahren der Anlage sollte das gesamte System vor der Zündung entweder mit Luft ausreichend gespült werden, oder es sollte eine Spülung mit Inertgas (sechsfaches Anlagenvolumen) vorgenommen werden.

5.4.2 Brand

Wann und wo:

- ➢ Nach einer Explosion
- ➢ Die Selbstentzündung von feuchtem Brennstoff in einer großen Schüttung kann zur Brandentstehung führen. Die Selbstentzündung in großen Schüttungen kann die Folge eines Wärmestaus sein, wobei die Verbrennung tief im Inneren des Haufwerks beginnt. Bei kleinen Mengen gelagerter Biomasse ist nicht mit Selbstentzündung zu rechnen, aber bei großen Lagermengen kann dies auftreten und zum Brand führen.
- ➢ Wenn maximal zulässige Temperaturen überschritten werden.
- ➢ Bei Heißarbeiten (Schweißen, Trennen, Schleifen, Sägen) auftretende Funken können einen Brand verursachen.
- ➢ Beim Austrag heißer Asche kann ein Brand entstehen.
- ➢ Bei einer Drehzahlverringerung des Gasmotors in Verbindung mit einem falschen Zündzeitpunkt kann im Bereich des Abgasrohrkrümmers ein fettes Gas-Luft-

---

[8] Explosionsfähige Gasgemische *unter nicht-atmosphärischen Bedingungen*, z. B. bei sehr hohen Temperaturen, liegen außerhalb des Anwendungsbereiches der Richtlinie 1999/92/EC; eine Zoneneinteilung kann in diesem Fall ungeeignet sein. Bedingungen für die Entstehung solcher Gemische und geeignete Schutzmaßnahmen müssen getrennt betrachtet werden.

[9] Druckentlastungseinrichtungen wie z. B. Berstscheiben sind aufgrund geringer (Entlastungs-) Flächen und hoher Kosten möglicherweise weniger gut geeignet. Beim Einsatz derartiger Einrichtungen ist gemäß ATEX-Richtlinie die Entkopplung des entsprechenden Anlagenbereichs von anderen Anlagenteilen durch Flammensperren erforderlich, wodurch das ganze System sehr kompliziert wird. In der Praxis werden Vergasungsreaktoren auch mit federbelasteten Explosionsklappen ausgerüstet, von denen aber abzuraten ist, da sie nach längerer Betriebszeit durch Teer und Staub verkleben können. Siehe hierzu auch die Normen EN 14994 (Schutzsysteme zur Druckentlastung von Gasexplosionen) und EN 14797 (Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung).

Gemisch auftreten. Dieses Gemisch ist heiß genug, sich selbst zu entzünden, wenn genügend Luft vorhanden ist. Bei einem zu späten Zündzeitpunkt kann es zur Rückzündung durch den Gasmischer kommen. Wenn die Zündung zu früh erfolgt, können Rückzündungen durch die Einlaßventile stattfinden, so dass diese verbrennen. Es ist anzumerken, dass solche Ereignisse bei modernen Gasmotoren mit einer intetgrierten Motorsteuerung weiniger wahrscheinlich sind.
- Bei Störungen des Systems zur Verhinderung von Rückbrand im Bereich der Brennstoffaufgabe (Zellenradschleuse, Doppelklappenschleuse) durch den Eintrag von Fremdkörpern, durch Ansteuerungsfehler oder Apparateversagen
- Auslaufen brennbarer Flüssigkeiten bei gleichzeitiger Anwesenheit einer Zündquelle

Was kann geschehen:
- Verletzungen von Menschen;
- Beschädigung der BVA und anderer Gebäude;
- Ein Brand kann eine Zündquelle für Explosionen darstellen;
- Freisetzung giftiger Gase.

Mögliche Gegenmaßnahmen:
- Brennstoffe sollten in verschlossenen, feuerhemenden Behältern oder in einem separaten Raum oder Gebäude gelagert werden.
- Entsprechend der örtlichen Brandschutzbestimmungen kann eine feuerwiderstandsfähige Abtrennung (mit einer festgelegten Feuerwiderstandsdauer) zwischen Brennstofflager und Vergaser erforderlich sein.
- Entsprechend nationaler Bestimmungen kann ein Schutz vor Flammenrückschlag am Reaktor, an der Fackel und am Lufteinlass zum Gasmotor erforderlich sein.
- Am Ascheaustragssystem sollte eine Befeuchtungsvorrichtung vorhanden sein, um Brandgefahren durch glühende Partikel zu vermeiden, oder es sollte eine Stickstoffinertisierung der Ascheaustragsschnecken vorgenommen werden.
- Die Temperatur der Brennstoffschüttung im Lager sollte überwacht werden.
- Ausreichende Belüftung wird empfohlen, vorzugsweise durch natürliche Belüftung
- Einrichtungen zur Branderkennung und Brandbekämpfung, die international anerkannten Vorgaben entsprechend der Art und Menge der auf dem Gelände vorhandenen brennbaren Stoffe entsprechen
- Aufenthaltsräume durch ausreichenden Abstand oder durch feuerbeständige Wände geschützt sein.
- Die Zulufteinlässe zu Aufenthaltsbereichen sollten so gestaltet sein, dass kein Rauch oder Gas eindringen kann.
- Eine Brandschutzordnung ist aufzustellen, und es sind ausreichende Mittel zur Brandbekämpfung bereitzustellen. Die Beschäftigten sind im Gebrauch der Feuerlöscheinrichtungen sowie über das Verhalten im Falle einer Evakuierung zu schulen. Die Brandschutzplanung schließt die Abstimmung mit örtlichen Behörden und ggf. mit benachbarten Unternehmen ein.
- Als Feuerlöscheinrichtungen sollten Feuerlöscher und ggf. eine Sprinkleranlage installiert werden. (Die Brandschutzmaßnahmen müssen mit der zuständigen Brandschutzdienststelle abgestimmt werden.) Als festinstallierte Systeme kommen ggf. auch Schaumlöscheinrichtungen und automatisch oder manuell betriebene Löschsysteme in Betracht.
- Alle Brandschutzsysteme sollten in einem sicheren Bereich der Anlage untergebracht sein und durch ausreichenden Abstand oder feuerwiderstandsfähige Wände vom Brandbereich getrennt sein.

- Einrichtungen zur Branderkennung müssen für den Einsatz in staubiger Umgebung geeignet sein, um die Auslösung von Falschalarmen und ggf. von automatischen Löschmaßnahmen zu verhindern.

5.4.3 Auslaufen giftiger oder gesundheitsschädlicher Flüssigkeiten

Wann:

- Bei Leckagen im Bereich der Gaskühlung
- Bei Leckagen an Behältern, die giftige oder gesundheitsschädliche Flüssigkeiten enthalten
- Bei Instandhaltungsarbeiten im Bereich der Gaskühlung

Wo:

- Wasserdampf- oder Teerkondensat, insbesondere Kondensat, das im Bereich der nassen Gaswäsche anfällt, kann giftig oder gesundheitsschädlich sein.
- Waschlösungen (Gaswäsche) und andere Medien (einschließlich mancher industrieller Fettlöser), die bei der Reinigung oder Schmierung von teerverschmutzten beweglichen Teilen verwendet werden können giftig bzw. gesundheitsschädlich und ätzend sein.

Was kann geschehen:

- Kontakt mit giftigen/ätzenden Flüssigkeiten kann zu Verletzungen, Erstickung, Verätzung oder Reizung der Augen oder Atmungsorgane führen.
- Die Flüssigkeit kann verdunsten, und die entstehenden Dämpfe könnten eingeatmet werden, beispielsweise PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), die teilweise karzinogen sind.
- Austretende Flüssigkeiten können die Umwelt gefährden oder schädigen.
- Bei brennbaren Flüssigkeiten besteht außerdem die Gefahr der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre.

Mögliche Gegenmaßnahmen:

- Tragen von (chemikalienbeständigen) Schutzhandschuhen, Schutzbrille und Sicherheitsschuhen
- Tragen von geeigneten Atemschutzgeräten, um das Einatmen von giftigen Gasen oder Dämpfen zu verhindern
- ausreichende Belüftung des Arbeitsbereichs
- Sammeln in Behältern, die durch ein zugelassenes Entsorgungsunternehmen abgeholt und entsorgt werden, entsprechend der jeweiligen Betriebsgenehmigung.
- Beschränkung der Menge giftiger bzw. gesundheitsschädlicher und ätzender Flüssigkeiten auf dem Betriebsgelände auf ein Minimum.
- Bereithalten von Aufsaug- und Reinigungsmitteln für verschüttete Flüssigkeiten
- Benutzung von funkenfreiem Werkzeug
- regelmäßige Prüfung des Bestandes an giftigen bzw. gesundheitsschädlichen und ätzenden Flüssigkeiten.

5.4.4 Austritt giftiger Gase (insbesondere CO)

Wann:

- Giftige Gase können im Leckagefall aus Anlagenteilen austreten, die unter Überdruck stehen. Nach dem Abfahren einer Anlage enthält das gesamte System giftiges Gas. Es ist wichtig zu wissen, dass auch nach dem Abfahren der Anlage

(egal, ob geplant oder als Notabfahrvorgang) eine gewisse Zeit lang weiterhin Vergasungsreaktionen stattfinden, die einen Überdruck im System zur Folge haben können, wenn das Gas nicht sicher abgeleitet wird. Dies gilt insbesondere für Festbettvergaser, die große Menge Brennstoff enthalten.
- Während der Instandhaltung der Anlage
- Wenn flüchtige giftige Flüssigkeiten austreten

Wo:
- An Wassersperren im Fall von Überdruck
- An Leckstellen, wenn Überdruck entsteht
- Bei der Emission von Abgasen

Was kann geschehen:
- CO-Vergiftung
- bei CO-Austritt zusätzlich Explosionsgefahr (vgl. 5.4.1).
- Erstickungsgefahr (CO, PAK, …)
- Akute Vergiftung oder chronische Schädigung, da einige Komponenten des Generatorgases (z.B. PAKs) karzinogen sind
- Reizung der Augen und der Atemwege

Mögliche Gegenmaßnahmen:
- Gasdichte Gestaltung des Systems (siehe Abschnitt 5.5.)
- Das Betriebspersonal sollte im Betrieb und bei Instandhaltungsarbeiten tragbare CO-Warngeräte mit sich führen. Stationäre CO-Detektoren sollten im Brennstofflager, im Vergasergebäude und im Motoraufstellraum installiert sein und bei CO-Werten oberhalb von 25 bzw. 50 ppm alarmieren.
- Leitwartenräume sollten eine Überdruckbelüftung erhalten.
- Das Vergasergebäude sollte großzügig belüftet werden.
- Wenn schädliche Flüssigkeiten hoher Flüchtigkeit freigesetzt werden, gelten die in Abschnitt 5.4.3 genannten Schutzmaßnahmen.

5.4.5 Bedienungsfehler

Nur qualifiziertes Fachpersonal darf die Anlage bedienen und sie instandhalten. Das Personal sollte beim Technologielieferanten oder direkt in der Anlage ("on-the-job") anhand des Betriebshandbuchs des Herstellers in die Anlagenbedienung eingearbeitet werden. Es verbleiben jedoch weiterhin potentielle Risiken, die auf Bedienungsfehler zurückgehen:
- Wenn bei der Behebung eines Problems Alarmschwellenwerte (autorisiert oder unautorisiert) verändert wurden, müssen diese anschließend wieder in den Ursprungszustand zurückgesetzt werden.
- Sicherheitsbezogene Änderungen an der Prozesssteuerung dürfen nur von besonders ausgebildetem Personal durchgeführt werden und müssen im Logbuch dokumentiert werden. Im Betriebshandbuch müssen hierzu eindeutige Hinweise und Anleitungen enthalten sein (z. B. Ändern von Alarmeinstellungen, Umprogrammierung).
- Durch Betriebsanweisungen sollte festgelegt werden, welche Tätigkeiten durch einzelne Personen oder nur durch mehrere Personen ausgeführt werden dürfen.

5.5 Normen und Standards

Hinsichtlich der Herstellung von Biomassevergasungsanlagen einerseits und ihres Betriebs andererseits existieren unterschiedliche Regeln und Normen.

Anwendbare (EU-)Richtlinien sind in Kapitel 3 zusammengestellt. Eine aktuelle Liste harmonisierter Normen zu diesen europäischen Richtlinien ist im Internet zu finden unter:

http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/standardization/harmstds/reflist.html.

Bestimmungen für den Betrieb von BVA finden sich typischerweise in nationalen Vorschriften, technischen Regelwerken usw., sind aber nicht in Normen (wie z. B. EN- oder ISO-Normen) festgelegt.

Vergasungsanlagen bedürfen hinsichtlich der Gestaltung, des Baus und des sicheren Betriebs einer Genehmigung der örtlichen Brandschutzdienststelle und der Zulassungsbehörde. In manchen Fällen sind ergänzende Stellungnahmen durch Gutachter, externe Prüfstellen und/oder Umweltbehörden erforderlich. Die detaillierten Genehmigungsanforderungen variieren innerhalb der EU (vgl. Kapitel 3) und hängen von Parametern wie der thermischen Leistung der Anlage, der Art der Einsatzstoffe, vom Anlagenstandort usw. ab.

5.5.1 Regeln und Normen zur Gasdichtheit

In der chemischen Industrie existieren einige Vorgaben für den sicheren Umgang mit gefährlichen (giftigen und entzündlichen) Stoffen in Behältern und Rohrleitungen. Regeln zur Gasdichtheit beziehen sich dabei auf bewährten Verfahren zur Vermeidung von Leckagen, zur Detektion von Freisetzungen usw.
Technische Maßnahmen, die die Anwendung von Normen für Rohrleitungen und die Auslegung und Instandhaltung von Rohrleitungsnetzen betreffen, sind auf der Webseite der “Health and Safety Executive“ zu finden. Diese Maßnahmen entsprechen dem Stand der Technik für Anlagen, die der Seveso-II-Richtlinie unterliegen ("Störfall-Anlagen"):

http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeaspipework.htm

Wenngleich die Seveso-II-Richtlinie auf BVA formal nicht anzuwenden ist, können die genannten Empfehlungen zur Gasdichtheit auch für BVA herangezogen werden (wie z.B. die Häufigkeitswerte und Schweregrade für die Risikobewertung). Die in Tabelle 5.1 aufgeführten Normen könnten dabei relevant sein.

Das deutsche Regelwerk enthält Definitionen und Hinweise zu “technisch dichten” Anlagenteilen, und zwar

- im unverbindlichen Leitfaden über die Richtlinie 1999/92/EC, vgl. Bemerkungen zur Zone 2 im Glossar und in Kapitel 3.2.1 jenes Leitfadens,
- in den
  - “Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)”: TRBS 2152 Teil 2, Kapitel 2.4.3,
  - “Technischen Regeln für Gefahrstoffe“: TRGS 722, und in den
  - “Berufsgenossenschaftlichen Regeln (BGR)": BGR 104 "Explosionsschutz" (ähnliche Definitionen und Beschreibungen sind in diesen Dokumente enthalten)

In den Technischen Regeln für Betriebssicherheit wird zwischen Einrichtungen, die “technisch dicht” sind, und denjenigen, die “auf Dauer technisch dicht” sind, unter-

schieden. Im letzteren Fall ist kein gefährlicher Austritt von brennbaren Stoffen zu erwarten, und es besteht kein Grund, einen explosionsgefährdeten Bereich um eine solche Einrichtung zu klassifizieren. TRBS 2152-2 etc. nennt Beispiele für Verbindungen, die als “auf Dauer technisch dicht” eingestuft werden, z. B. bestimmte Arten von Flanschen, die bei Rohrverbindungen benutzt werden.
In manchen Fällen können auch technische Maßnahmen in Kombination mit regelmäßiger Inspektion und Wartung dazu führen, dass die Ausrüstung als “auf Dauer technisch dicht” gilt.

Bei Einrichtungen, die als nur “technisch dicht” gelten, sind in seltenen Fällen Freisetzungen zu erwarten, was in der Regel zu einer Einteilung in Zone 2 für die Umgebung der Einrichtung bzw. der Verbindungensstelle führt.

In der TA-Luft (Kapitel 5.2.6.3) sind im Hinblick auf Umweltschutzmaßnahmen einige Vorgaben zu finden, die sich auf zulässige Leckraten von Flanschverbindungen und Dichtungen beziehen. Diese beziehen sich jedoch auf gasförmige Emissionen bestimmter (flüchtiger oder gefährlicher) organischer Flüssigkeiten und gelten formal nicht für Generatorgas.
Hinsichtlich der technischen Anforderungen verweist die TA-Luft auf die Richtlinie VDI 2440 (für technisch dichte Flanschverbindungen) und auf EN 1591-2 bezüglich der Wahl und Gestaltung von Flanschverbindungen.
Diese Normen könnten auch für Flanschverbindungen bei Rohren mit gefährlichen Gasen herangezogen werden.

5.5.2 Literatur zur Zoneneinteilung und zu Explosionsschutzmaßnahmen

Auf der Webseite der “Health and Safety Executive” findet man allgemeine Informationen über:

- Brände und Explosionen:
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/index.htm

- die ATEX-Vorschriften (in Großbritannien "DSEAR" genannt):
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/atex.htm

- einen kurzen Leitfaden zu den ATEX-Vorschriften:
www.hse.gov.uk/pubns/indg370.pdf

- Zoneneinteilung:
www.hse.gov.uk/fireandexplosion/zoning.pdf

Weitere Hinweise findet man in den in Tabelle 5.2 aufgeführten Quellen. Die verschiedenen Quellen enthalten Informationen über Explosionsschutzmaßnahmen (z. B. EN 1127-1:2007).

Tabelle 5.1: Normen zur Gasdichtheit; die bei BVA gelten können

Quelle	Name	Beschreibung
American Society of Mechanical Engineers (ASME) http://www.asme.org/	B31.3-2002 Process Piping	Erdöl Rafinerien, chemische, pharmazeutische Anlagen, Textil-, Papier-, Halbleiterfabriken, und kryotechnische oder vergleichbare Anlagen. Inhalt und Anwendungsbereich (a) Dieser code schreibt Anforderungen für Material und Komponenten, Gestaltung, Herstellung, Montage, Errichtung, Untersuchung, Inspektion und Prüfung von Rohren vor. (b) Dieser Code gilt für Rohre für alle Flüssigkeiten, inklusive: rohe, intermediäre und fertige Chemikalien; (2) Erdöl Produkte; (3) Gas, Dampf, Luft und Wasser; (4) verflüssigte Feststoffe; (5) gekühlte; und (6) kryogenische (tiefgekühlte) Flüssigkeiten. (c) Siehe Abb. 300.1.1 für ein Diagramm, das die Verwendung von B31.3 Rohren in einer Anlage illustriert. Die Verbindungsleitungen zur Anlage sind im Anwendungsbereich von B31.3. Innerhalb des Anwendungsbereiches sind auch Rohrleitungen, die Teilstücke oder Abschnitte innnerhalb einer verpackten Anlagenanordnung verbinden. Ausnahmen. Dieser Code schließt folgendendes aus: (a) Rohrleitungssysteme, die für interne Überdrucke bei oder über Null aber weniger als 105 kPa (15 psi), vorausgesetzt die verarbeitete Flüssigkeit is nicht entzündbar, nicht toxisch und nicht schädigend für menschliches Gewebe, nach der Definition in 300.2, und ihre definierte charakteristische Temperatur von -29°C (-20°F) bis 186°C (366°F) liegt; (b) Power Boiler nach BPV Code2 Section I und externe Boiler Leitungen gemäß B31.1; (c) Rohre, Rohrverteiler, Crossoververbindungen und Verteilrohr von Heizungen, die sich in der Einhausung der Heizung befinden; und (d) Druckbehälter, Hitzeaustauscher, Pumpen, Kompressoren, und weitere Flüssigkeitsverarbeitende Geräte, inklusive interne Rohrleitungen und Verbindungen für externe Rohrleitugen.
IGEM www.igem.org.uk	IGE/UP/1/New Edition 2 2003 Leitfaden für kommerzielle Gasdichtheituntersuchuungen und Reinigungsanforderungen.	IGE/UP/1 (Edition 2) bietet eine praktische Anleitung für Gasfachkräfte, die Belastungs- und Dichtheitstests durchführen sowie Leitungen reinigen im kommerziellen Sektor.

IGEM Energy Institute Publications http://www.igem.org.uk/Technical/energyinstitute.asp	IP Model Code of Safe Practice Part 13: Druck Untersuchung des Leitungssystems	Zweck dieser Richtlinie ist es, ein Leitfaden für das sichere Vorgehen bei wiederkehrenden Dichtigkeitsuntersuchungen und der Prüfung von Rohrleitungssystemen, die in Erdöl- und der chemischen Industrie eingesetzt werden zu erstellen. Die Richtlinie enthält die allgemeinen Anforderungen in Bezug auf die Bereitstellung und Wartung von geeigneten Dokumentationen, wiederkehrende Untersuchungen, die Kontrolle von Änderungen und Reparaturen, Prüfungsfrequenz, Schutzeinrichtungen und die Prüfung von Rohrleitungssystemen. In vielen Ländern gibt es gesetzliche Vorschriften, sowohl lokale als auch nationale, im Zusammenhang mit der wiederkehrende Untersuchung von Druckbehältern und, wo dies der Fall ist, sollte diese Richtlinie als Ergänzung betrachtet werden.
Britishes Norm	BS 3636:1963 Methoden die zur Gasdichtheit führen bei evakuierten Anlagen oder solche die unter Druck stehen	Zehn Methoden für die Anwendung auf evakuierte Anlagen, sieben unter Druck befindlichen Anlagen. Fünf befassen sich mit direkten Messungen der Mengen, sind aber zu unempfindlich oder langwierig. Andere nutzen Suchgas und Gasdetektoren. Vier verwenden Vakuum-Messgeräte, die auch einen anderen Zweck in der Anlage erfüllen können. Jede Methode beschreibt die Geräte, besondere Vorsichtsmaßnahmen, Verfahren, die Auswertung der Ergebnisse, Funktionsprinzipien, und Empfindlichkeit. Gestaltung der Anlage; Verträge; Sperrung von kapillaren Leckagen; Leckraten von verschiedenen Flüssigkeiten; Arbeitsbeispiele; Sicherheitsvorkehrungen; Bibliographie; Methoden der Leckortung
Britishes Norm	BS 4504-3.3:1989 Kreisförmige Flanschen für Rohre, Ventile und Armaturen (PN angegeben). Spezifikationen für Kupfer-Legierungen und Kompositflanschen	Flanschentypen von PN 6 bis PN 40 und in Größen bis zu DN 1800. Verkleidungen, Abmessungen und ihre Toleranzen, Bolzenrgrößen, Materialien für die Verschraubung und Flansch Materialien mit verbundenen Druck-Temperatur-Bewertungen.
API	API 570 2nd Edition 1998 Richtlinie für Rohrleitungsuntersuchungen	Umfasst die Inspektion, Instandsetzung, den Umbau, und Neubewertungsverfahren für die im Betrieb befindliche metallische Rohrleitungssysteme. Legt die Anforderungen und Richtlinien fest, mit denen Eigentümer / Nutzer von Rohrleitungssystemen die Sicherheit und die mechanische Integrität der Systeme gewährleisten können, nachdem sie in Betrieb genommen wurden. Für die Verwendung durch Organisationen, die Zugang zu einer zugelassenen Kontrollstelle haben, Reparaturstellen und technische Fachkräfte. Kann verwendet werden für jedes Rohrleitungssystem, wenn es von Nutzen ist. Inspektoren für Rohrleitungssysteme sind wie in dieser Inspektionsrichtlinie angegeben zu zertifizieren.

API	API 510 - "Druckbehälter Inspektionsrichtlinie:: Instandhaltung Inspektion, Bewertung, Reparatur und Umbau "	Befasst sich mit der Wartung Inspektion, Reparatur-, Umbau-und Neubewertungsverfahren für Druckbehälter, die in der Erdöl-und chemischen Prozessindustrie eingesetzt werden.
API	API RP 572 - "Inspektion von Druckbehältern"	Befasst sich mit der Inspektion von Druckbehältern. Es enthält eine Beschreibung der verschiedenen Arten von Druckbehältern und die Standards, die für ihren Bau und die Instandhaltung verwendet werden können.
API	API RP 574 - "Inspektionsmethoden für Rohrleitungssystemkomponenten, Juni 1998"	Befasst sich mit Inspektionsmethoden für Rohrleitungen, Schläuchen, Ventilen (ausgenommen Regelventile), die in der chemischen Industrie verwendet werden und deren Einbau in Raffinerien.
API	API RP 575 - "Inspektion von atmosphärischen und Niederdruck-Behälter n"	Befasst sich mit der Inspektion von atmosphärischen Behältern, die konstruiert wurden für den Betrieb bei Druckverhältnisse von bis zu 0,5 bar über dem atmosphärischem Druck. Es befasst sich auch mit der Inspektion von Niederdruck-Tanks, die für den Betrieb bei einem Druck über 0,5 bar, aber weniger als 15 bar kontruiert wurden.
Health and Safety Executive	Webseite	http://www.hse.gov.uk/chemicals/spctechgen33.htm#App2

Tabelle 5.2: Anleitung für ATEX

Quelle	Name	Beschreibung
Energy Institute (führende Berufsverband für die Energiewirtschaft) http://www.energyinst.org.uk/index.cfm?PageID=1005#whatis	Model Code of Safe Practice Part 15: Bereichseinteilung und Klassifizierungsrichtlinie für Anlagen die mit brennbaren Flüssigkeiten umgehen.	*Model-Code für die sichere Praxis Teil 15: Die Richtlinie für die Zonenklassifizierung von Anlagen für den Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten (EI 15, früher als IP-15 genannt)* ist eine etablierte, international anerkannte Veröffentlichung, die Methoden für die Einteilung von Ausrüstungen, die für die Lagerung und die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten eingesetzt werden in Ex-Zonen aufzeigt für die Produktions-, Verarbeitungs-, Verteilungs- und den Vertriebssektoren. Er bildet einen sektorspezifischen Ansatz zur Erreichuung der Ex-Zonen Klassifizierungsanforderungen für brennbare Flüssigkeiten die in Großbritanien durch "die Gefährlichen Stoffe und explosive Atmosphären Verordnungen "(DSEAR) 2002 gelten. Damit ist sie viel detaillierter als BS EN 60079-10 "Elektrische Betriebsmittel für gasexplosiongefährdete Bereiche: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche". Beachten Sie, dass der Anwendungsbereich der EI 15 Ex-Zonen Klassifizierung Gefahren, die von Staub herrühren ausschließt.
SHAPA (Shapa ist der führende britische Fachverband für die Schüttgutaufbereitung und die verarbeitende Industrie seit ihrer Gründung im Jahr 1981)	Praktische Anleitung für Anbieter und Betreiber von Ausrüstungen für den Umgang mit Feststoffen (Staub) die als potenziell explosiv gelten Einhaltung von Rechts-vorschriften zur Umsetzung der ATEX-Richtlinien. http://www.shapa.co.uk/atex.php	Ziel ist es, praktische Hinweise für Hersteller, Lieferanten und Betreibern bei der Herstellung, Installation und Betrieb von Geräte oder Systeme, die die Einhaltung von Normen im Rahmen der ATEX-Richtlinien erfordern, insbesondere in staubiger Umgebung zu gebenAußerdem beinhaltet sie eine kurze Beschreibung der beiden entsprechenden ATEX-Richtlinien und der Erläuteruung deren Zwecks und derer Anwendungsbereiche. Pdf document**:** http://www.shapa.co.uk/pdf/atex.pdf
Bundesministerium für Arbeit und Soziales (German Federal Ministry of Labour and Social Affairs)	TRBS 2152 "Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre"	TRBS 2152 (TRBS = Technische Regeln für Betriebssicherheit) beschreibt Regeln für den Schutz vor Gefährdungen durch explosionsfähige Atmosphären am Arbeitsplatz. Wenn diese Regeln befolgt werden, ist anzunehmen, dass die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung und der Gefahrstoffverordnung. Erfüllt werden. Die TRBS 2152 wird auch in der BGR 104 (Explosionsschutz-Regeln) erwähnt, welche ihrerseits eine umfassende Beschreibung der Entstehung und der Verhinderung von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären, möglicher Zündquellen und deren Vermeidung und konstruktiver Maßnahmen zur Abschwächung der Auswirkungen von Explosionen enthält. BGR 104 umfasst auch eine detaillierte Liste von praktischen Beispielen zur Ex-Zoneneinteilung und zu Schutzmaßnahmen, wobei verschiedene Einflussfaktoren (z. B. Lüftung, Quellstärke) berücksichtigt werden.
DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung), (früher: HVBG)	BGR 104: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphären mit Beispielsammlung	

<table>
<tr><td>Europäische Kommission</td><td>Guidance on ATEX Directive 94/9/EC</td><td>http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/index.htm

Harmonisierter Leitfaden: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/atexguidelines_august2008.pdf

Erwägungen, Papiere des Ständigen Ausschusses für ATEX, darüber wie die Richtlinie interpretiert werden soll: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/standcomm.htm</td></tr>
<tr><td>Europäische Kommission</td><td>Anleitung für die ATEX Richtlinie 1999/92/EC</td><td>MITTEILUNG DER KOMMISSION über den nicht verbindlichen Leitfaden für bewährte Verfahren zur Umsetzung der Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet sind:

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0515:FIN:EN:PDF
[auch in anderen Sprachen verfügbar; auf der Webseite http://eur-lex.europa.eu nach dem Dokument "COM(2003) 0515" suchen]</td></tr>
<tr><td>Europäische Norm</td><td>EN 1127-1
Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz - Grundlagen und Methodik</td><td>Explosionsfähige Atmosphären, Brandverhütung, Explosionen, Gefahren, Klassifizierungen, Zündung, Oberflächen, Flammen, elektrische Funken, Gase, Partikel-Materialien, Elektrostatik, elektrischer Strom, Blitz, elektromagnetische Strahlung, hohe Frequenzen, Entflammbarkeit, ionisierende Strahlung, Ultraschall, chemische Gefahren, Design, Lüftung geschützter elektrischer Geräte, Einteilung in gefährliche Bereiche (für elektrische Geräte), Staub, Brandschutz, Flammendurchschlagsicherungen, Sicherheitsmaßnahmen, Hinweise für die Kennzeichnung, Handwerkzeuge, Steuerungsgeräte, elektrische Sicherheit, Risikobewertung</td></tr>
<tr><td>Europäische Norm</td><td>EN 60079-10
Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche - Teil 10: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche</td><td rowspan="2">Die Normen EN 60079-10 bzw. EN 61241-10 erläutern die grundlegenden Prinzipien der Zoneneinteilung für Gase, Dämpfe und Stäube. Diese Normen bilden eine geeignete Grundlage für die Beurteilung der Art und Ausdehnung von Zonen und können als Leitfaden für die Einhaltung der nationalen Anforderungen bezüglich des Explosionsschutzes verwendet werden.
Diesen Normen kann jedoch nicht für konkrete Einzelfälle die Art und Ausdehnung der Zonen entnommen werden, da standortspezifische Faktoren immer zusätzlich berücksichtigt werden müssen.</td></tr>
<tr><td>Europäische Norm</td><td>EN 61241-10
Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub - Teil 10: Einteilung von staubexplo-sionsgefährdeten Bereichen</td></tr>
</table>

Für die Verwendung im Vergaserleitfaden wurden die Bezeichnungen der Europäischen Normen (EN) zitiert, aber die verschiedenen nationale Übersetzungen wurden ausgelassen, um die Liste nicht unnötig zu verlängern.

5.6 Dokumentation

5.6.1 Betriebshandbuch bzw. Betriebsanleitung

- Beschreibung der technischen Prozesse in den Hauptbereichen der Anlage (wie in Kapitel 2 beschrieben) einschließlich des R+I-Schemas der Anlage.
- Beschreibung der Strategien und Prozessen zur Automatisierung und Steuerung
- Grundlegende technische Daten
- Kontaktdaten des Herstellers
- Vorgehensweise beim Betrieb und bei der Instandhaltung
  - Anfahren der Anlage
  - Normalbetrieb, einschließlich Prozessvisualisierung und Übersicht über Einstellwerte
  - automatischer Betrieb
  - Abfahren der Anlage
  - Abläufe im Notfall
  - Checklisten, Inspektions- und Wartungstabellen (was, wann, wo)
  - Störungsbeseitigung
  - Instandhaltung
- Hinweise zum Sicherheits-, Gesundheits und Umweltschutz
  - Qualifikation der Mitarbeiter
  - Beschreibung der vorhandenen Gefahren
  - Hinweise für den Normalbetrieb
  - Hinweise für Inspektion und Wartung
  - Hinweise zur Instandsetzung oder Veränderung

Der größte Teil dieser Dokumentation muss durch den Hersteller mitgeliefert werden. In manchen Fällen – z. B. für einen Genehmigungsantrag – muss der Hersteller die benötigte Information auf Nachfrage liefern. Der Betreiber der Anlage ist dafür verantwortlich, dass im Falle von Änderungen an der Anlage, im Betriebsablauf oder bei Instandhaltungsarbeiten, wie z. B. bei Veränderungen von geschützten Einstellungen, die Information auf dem aktuellen Stand gehalten werden.

5.6.2 Weitere Dokumentation

- Notfallmaßnahmen
  - Checklisten (was, wann, wo gemacht werden muss)
  - Beschreibung von Rettungswegen
  - Kontaktadressen bzw. Notfall-Rufnummern
- Unfallregister
- Ersatzteilliste
- Logbuch (falls elektronisch: mit sicherem Backup)
- Schulungs-/Trainingshandbuch
- Detaillierte Anlagenbeschreibung (Zeichnungssatz)
  - Beschreibung der Prozesse
  - Fliessdiagram (RI-Schema) der einzelnen Hauptprozessschritte für den Betrieb jeder Einheit der Anlage

- Liste der Komponenten (I/O Liste)
- HAZOP-Dokumentation (sofern durchgeführt)
- Ergebnisse der Risikobewertung, Analyseprotokoll (sofern durchgeführt)
- Aufstellungsplan

➢ Dokumentation der einzelnen Komponenten mit Zeichnungen
➢ Genehmigungen und Bescheinigungen (Bau, Umwelt, CE-Kennzeichnung etc.)

Tabelle 5-3 zeigt, welche Teile der Dokumentation vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden müssen und welche vom Betreiber angefertigt werden müssen.

Table 5-3: Für die Dokumentation verantwortliche Personen / Gruppen

Dokument	***Hersteller***	***Betreiber***
Betriebsanleitung	*X*	
Schulungs-/Trainingshandbuch	*X*	
Aktualisierung der Betriebsanleitung		*X*
Beschreibung und Karte der Rettungswege		*X*
Detaillierte Anlagenbeschreibung (Zeichnungssatz)	*X*	
Unfallregister		*X*
Logbuch		*X*

6 Emissionsminderung in Biomassevergasungsanlagen

Wie in Kapitel 3.6 beschrieben, ist für Biomassevergasungsanlagen noch zu klären,

- welche der bei Verbrennungsverfahren angewandten Techniken zur Emissionsbegrenzung sich erfolgreich auf Biomassevergasungsanlagen übertragen lassen und
- welche Emissionswerte auf diese Weise unter Berücksichtigung sowohl umweltbezogener als auch wirtschaftlicher Erwägungen erzielt werden können.

6.1 Techniken zur Emissionsminderung

Die Beschreibung der Emissionen und der Emissionsminderungstechniken in diesem Kapitel bezieht sich auf die wesentlichen Prozesseinheiten einer Biomassevergasungsanlage. Die prinzipiell zu berücksichtigenden Freisetzungspfade für Emissionen stellen sich wie folgt dar:

Quellen der Freisetzung	Substanzen									
in: - Atmosphäre (A) - Wasser (W) - Boden (B)	Staub	Schwefeloxide	Stickstoffoxide	Kohlenoxide	organ. Verbindungen	Säuren, Laugen, Salze	VOC	Schwefelwasserstoff	Ammoniak	Metalle und deren Salze
Brennstofflagerung und Handhabung	A				A W B		A			
Wasserbehandlung	W				W	W				W
Handhabung von Schlacken / Aschen	A									
Gasbehandlung	A	A	A	A	A		A	A	A	
Salzrückgewinnung	A				W B					
Abwasserbehandlung	W			A	W	W			W	
Geländeentwässerung (incl. Niederschlagswasser)	W				W					
Kesselabschlämmung	W					W				W

Abb. 6.1: Potentielle Freisetzungspfade der Vergasung, nach [30]

6.1.1 Biomasselagerung, Vorbehandlung, Transport und Zuführung

Eine Beschreibung potenzieller Emissionen und Emissionsminderungstechniken bei der Lagerung und Handhabung fester Biobrennstoffe findet sich in einem Leitfaden des Nordic Innovation Centre [31] aus dem Jahr 2008. Der Staub fester Biobrennstoffe kann in großer Zahl die Mikrosporen von Schimmelpilzen und Aktinomyzeten enthalten, die in feuchter Biomasse wie z. B. Holzhackschnitzeln günstige Wachtumsbedingungen vorfinden. Die Mikrosporen, die bei der

Handhabung der Biomasse in die Luft gelangen, sind leicht einatembar und können allergischer Reaktione und allergische Alveolitis hervorrufen.
Eine Möglichkeit, das Wachstum der Schimmelpilze und Aktinomyzeten sowie die Freisetzung von Mikrosporen zu vermeiden, besteht darin, nur trockene Biomasse (< 20% Wassergehalt) zu lagern und Feuchtigkeitszutritt zu verhindern. Bei einer Lagerung im Freien ist es wichtig, das Material entsprechend seinem Alter zu verwenden (ältestes Material zuerst) [31]. Die Lagerdauer feuchter Biomasse sollte so kurz wie möglich sein.

Sofern sehr große Mengen zerkleinerter Biomasse in umschlossenen Bereichen (z. B. in Silos) gelagert werden, ist innerhalb des Lagers die Bildung von Kohlenmonoxid in erheblicher Konzentration möglich [31].
Bei der mechanischen Behandlung und beim Transport getrockneter Biomasse wird Staub freigesetzt. Geschlossene Fördersysteme können die Staubfreisetzung minimieren. Wie in Abschnitt 5.4.1 beschrieben, ist die regelmäßige Reinigung der Anlage (einschließlich der Entfernung von Staubablagerungen) eine wesentliche Maßnahme, um die Selbstentzündung von Staubschichten auf heißen Oberflächen und Staubexplosionen zu verhindern.

6.1.2 Vergasungsreaktor

Durch den Betrieb eines Vergasungsreaktors bei Umgebungsdruck oder leichtem Unterdruck lassen sich gasförmige Emissionen des Reaktors generell minimieren. Üblicherweise ist es bereits für einen stabilen Reaktorbetrieb und für eine gute Gasqualität erforderlich, den Reaktor so zu gestalten, dass Gasleckagen und unkontrollierte Gasströme in den Reaktor oder aus dem Reaktor heraus nicht auftreten können.
Während der- An- und Abfahrphasen des Vergasungsreaktors ist die Gasqualität für eine Nutzung im Gasmotor möglicherweise unzureichend. Für diese Betriebsphasen sowie bei einem vorübergehenden Ausfall des Gasmotors kann eine Fackel oder eine ähnliche Einrichtung eingesetzt werden, um das erzeugte Gas zu verbrennen und so die Freisetzung unverbrannten Gases in die Atmosphäre zu vermeiden (vgl. Abschnitt 5.3.2).
Der Austrag der Asche aus dem Vergasungsreaktor kann eine Emissionsquelle für Staubemissionen darstellen. Sofern im Reaktor eine kohlenstoffreiche Asche gebildet wird, sind zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung einer Selbstentzündung der Asche beim Kontakt mit Umgebungsluft erforderlich, z. B. ein nasser Ascheaustrag, wodurch auch Staubemissionen vermieden werden können.

6.1.3 Gaskühlung und Gasreinigung

Um einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb des Gasmotors zu ermöglichen, ist es üblicherweise erforderlich, Teer und Staub aus dem erzeugten Rohgas zu entfernen (außer bei Vergasungsreaktoren, die bereits ein extrem sauberes Rohgas erzeugen). Wie in Kapitel 2.5 und 2.6 beschrieben, kann zur Reinigung des Rohgases eine Kombination aus einem Gaszyklon und (trocken arbeitenden) Filtern oder (nassen) Gaswäschern eingesetzt werden, fallweise ergänzt durch elektrostatische Abscheider. Auf diese Weise kann die Beladung des Gases mit Teerkomponenten höherer Molekülmasse (z. B. polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, PAK) minimiert werden, aber für organische Komponenten mit

hohem Dampfdruck (z. B. Benzol) ist dieses Verfahren nicht oder nur begrenzt wirksam.
Sofern das Rohgas Ammoniak in erheblichem Anteil enthält, ist die Ammoniakentfernung z. B. mittels nasser Gaswäsche erforderlich, um die Bildung von Brennstoff-NO_x im Gasmotor zu vermindern.
Wenn bei der Gasreinigung flüssige Rückstände mit erheblichem Gehalt an organischen Stoffen anfallen, können diese ggf. zur thermochemischen Umsetzung in den Vergasungsreaktor zurückgeführt oder in anderen Einrichtungen der Anlage zur thermischen Umwandlung eingesetzt werden. Sofern diese flüssigen Rückstände überwiegend aus Wasser bestehen, kommt ggf. eine Behandlung in Aktivkohlefiltern vor der Einleitung des Wassers in die Kanalisation in Betracht. Andernfalls kann es erforderlich werden, diese Flüssigkeiten als Abfälle zu entsorgen.

6.1.4 Gasmotorbetrieb und Abgasreinigung

Zu den wesentlichen Emissionen der Gasmotoren zählen der Lärm und das Motorabgas.
Zur Begrenzung der Lärmemissionen werden Gasmotoren in getrennten Aufstellräumen mit schallabsorbierenden Wänden betrieben und Schalldämpfer in der Verbrennungsluftzuführung sowie in der Abgasableitung eingesetzt.

Abgasemissionen der Gasmotoren sind in den Abschnitten 2.7 und 2.8 beschrieben. Zur Minderung der Emission einzelner Abgaskomponenten (z. B. CO, NO_x, Benzol) kommt eine Abgasreinigung mit verschiedenen Techniken in Betracht, u. a. mittels Katalysatoren und thermischer Nachverbrennung. Langzeiterfahrungen hinsichtlich des Wirkungsgrades und der Standzeit von Katalysatoren in (kommerziell betriebenen) Biomasevergasungsanlagen liegen bislang noch nicht vor. Die Standzeit der Katalysatoren wird durch Katalysatorgifte wesentlich beeinflusst, z. B. durch Schwermetall-und Alkalimetallverbindungen, welche z. T. die Aktivität der katalytisch wirksamen Oberfläche verringern.

Der Gasschlupf in Kolbenmotoren (vgl. Kapitel 2.7) hat zur Folge, dass ein Teil des Brenngases (ca. 1 %) unverbrannt ins Motorabgas gelangt. Die Verbrennung stickstoffhaltiger Verbindungen (z. B. Ammoniak) als Bestandteile des Vergasungsgases führt zur Bildung von Brennstoff-NO_x. Durch Magerbetrieb des Motors (Betrieb mit Luftüberschuss) kann die Gesamtemission von NO_x minimiert werden; die hiermit verbundene niedrige Verbrennungs- und Abgastemperatur bewirkt jedoch tendenziell einen höheren CO-Gehalt im Motorabgas.
Um akzeptable Emissionswerte zu erreichen, ist in Abhängigkeit von den im Vergasungsgas enthaltenen Verbindungen ggf. eine Kombination verschiedener Rohgas-und Abgasreinigungstechniken erforderlich.

6.2 Emissionsgrenzwerte

Soweit nationale Vorschriften europäischer Staaten Emissionsgrenzwerte für das Abgas gasbetriebener Verbrennungsmotoren enthalten, sind zumeist keine spezifischen Anforderungen für die Nutzung von Gas aus der thermischen Biomassevergasung festgelegt worden. In umweltrechtlichen Genehmigungsverfahren werden dann häufig Emissionsgrenzwerte herangezogen,

die ursprünglich für die gasmotorische Nutzung anderer Brennstoffe (z. B. Biogas) aufgestellt wurden.

Es bleibt zu prüfen, ob die für andere Gasarten festgelegten Emissionsgrenzwerte auch in Biomassevergasungsanlagen den besten verfügbaren Techniken bzw. dem Stand der Technik für die Emissionsminderung bei Verbrennungsmotoren entsprechen: Wesentliche Prozesskenngrößen, insbesondere der CO-Gehalt im Brenngas, unterscheiden sich signifikant. Emissionsgrenzwerte, die auf der Grundlage verfügbarer und erprobter Techniken für die Verbrennung von Standardbrennstoffen (z. B. von CO-freiem Brenngas) festgelegt wurden, sind daher auf kleine Biomassevergasungsanlagen nur bedingt übertragbar.
Hinzu kommt, dass die langfristige Wirksamkeit von Emissionsminderungstechniken an kleinen BVA derzeit noch Gegenstand von Untersuchungen ist. Daher kann es notwendig werden, Emissionsgrenzwerte für kleine BVA auf der Grundlage weiterer Erfahrungen mit Anlagen im Langzeitbetrieb und entsprechenden Messergebnissen festzulegen.

6.2.1 Emissionsgrenzwerte in Dänemark

In Dänemark wurden im Jahr 2005 Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren festgelegt, die mit Gas aus der thermischen Vergasung von Abfallbiomasse[9] betrieben werden, und zwar für NO_x, unverbrannte Kohlenwasserstoffe (UHC), CO und Geruchsemissionen. Diese Emissionsgrenzwerte sind nachstehend aufgeführt (Bezugszustand: trockenes Abgas im Normzustand, 5% O_2, ausgenommen bei Geruch – tatsächlicher O_2-Gehalt)[10]:

NO_x: 550 mg/m^3

UHC: 1500 mg C/m^3 (gültig für 30% elektr. Wirkungsgrad)

CO: 3000 mg/m^3

Geruch: 20.000 Geruchseinheiten/m^3

Bei Verbrennungseinrichtungen wird die CO-Konzentration im Abgas häufig als ein leicht messbarer Indikator für die Vollständigkeit der Verbrennung herangezogen, speziell im Hinblick auf die Begrenzung der Emission problematischer Abgaskomponenten wie z. B. polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK). Messungen der Abgaszusammensetzung von Gasmotoren gewerblich genutzter Biomassevergasungsanlagen in Dänemark [32] hatten gezeigt, dass die PAK-Emissionen dieser Anlagen generell sehr niedrig sind, unabhängig vom CO-Gehalt

[9] Der Begriff "Abfallbiomasse" (biomasseaffald) schließt in Dänemark naturbelassene Biomasse ausdrücklich ein.
[10] BEK Nr. 621 vom 23.06.2005: Bekendtgørelse om begrænsning af emission af nitrogenoxider, uforbrændte carbonhydrider og carbonmonooxid mv. fra motorer og turbiner

des Abgases, welcher hauptsächlich aus dem Motorschlupf herrührt. Aus diesem Grunde wurde im dänischen Regelwerk ein relativ hoher CO-Emissionsgrenzwert für Gasmotoren festgelegt, die mit Vergasungsgas betrieben werden. (Für die *Verbrennung* des Vergasungsgases gelten in Dänemark deutlich niedrigere CO-Emissionsgrenzwerte.)

Eine Geruchemissionsbegrenzung für die betreffenden Anlagen wurde in Dänemark eingeführt, weil Erfahrungen mit erdgasbetriebenen Gasmotoren gezeigt hatten, dass das Abgas dieser Anlagen Geruchsprobleme (insbesondere durch Aldehyde) hervorrufen kann [32].

6.2.2 Emissionsgrenzwerte in Deutschland

In Deutschland wird bei der Festlegung der Anforderungen an Biomassevergasungsanlagen (BVA) im Rahmen behördlicher Genehmigungsverfahren zwischen genehmigungsbedürftigen Anlagen, die eine Gasmenge mit einem Energieäquivalent von 1 MW oder mehr erzeugen können, und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen unterschieden.

Der Betrieb genehmigungsbedürftiger Anlagen darf nach deutschem Recht nicht dazu führen, dass schädliche Umwelteinwirkungen hervorgerufen bzw. Immissionsgrenzwerte (siehe Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG, Geruchsimmissionsrichtlinie) überschritten werden. BVA und anderen Emittenten (z.B. Straßenverkehr, Holzfeuerungen) dürfen nicht zu einer Überschreitung einer Benzolkonzentration von 5 µg/m³ als Jahresmittelwert im Einwirkungsbereich der BVA oder zu anlagenspezifischen Gerüche in mehr als 10 % der Jahresstunden führen (bzw. 15 %, abhängig von der Gebietsnutzung). Darüber hinaus müssen Emissionsminderungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik getroffen werden. Zur Begrenzung der Emissionen im Motorabgas werden von den Genehmigungsbehörden in der Regel folgende Emissionsbegrenzungen (teilweise in Anlehnung an die Anforderungen der TA Luft für Biogasmotoren) festgelegt:

- Kohlenmonoxid (CO): 0,65 g/m³
- Stickstoffoxide (NO_x), angegeben als NO_2: 0,50 g/m³
- Formaldehyd (HCOH): 60 mg/m³
- Benzol: 1 mg/m³
- Staub: 20 mg/m³

Die mittlerweile gewonnenen Erfahrungen haben gezeigt, dass bereits zur Einhaltung einer Benzolkonzentration von 3 mg/m³ die Nachschaltung eines relativ groß dimensionierten Oxidationskatalysators erforderlich ist, weshalb der oben genannte Benzolwert (1 mg/m³) derzeit von vielen Behörden noch als Zielwert angesehen wird.

Dagegen hat der Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen so zu erfolgen, dass zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen Emissionsminderungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik getroffen werden. Ob schädliche Umwelteinwirkungen z. B. durch Benzol-, oder Geruchsemissionen hervorgerufen werden können, hängt wesentlich davon ab,

- wie hoch Emissionskonzentration und Abgasvolumenstrom sind,
- in welcher Höhe die Abführung der Abgase und ob sie in die freie Luftströmung erfolgt,
- wie weit die Nachbarschaft entfernt ist,
- wie häufig Holzgas (das motorisch nicht genutzt werden kann – z.B. beim An- und Abfahren) unverbrannt ins Freie abgeführt wird und
- wie gut die Anlagenteile gekapselt sind, die geruchsintensive Komponenten (Holzgas, Waschflüssigkeiten, Rückstände) führen.

Entsprechend einer Empfehlung des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) [33] kann die Genehmigungsbehörde i.d.R. ohne weitere Prüfung davon ausgehen, dass die Anlage nicht zu schädlichen Umwelteinwirkungen durch Benzol führt, wenn der Benzol-Bagatellmassenstrom der Nr. 4.6.1.1 der TA Luft für diffuse Emissionen (5 g/h) unterschritten wird. Dies ist der Fall bei Anlagen mit einer elektrischen Leistung von weniger als 100 kW (entsprechend einem Abgasvolumenstrom von weniger als 500 m³/h), bei denen z. B. durch Nachschaltung eines Oxidations-katalysators im Motorabgas eine Benzolkonzentration von weniger als 10 mg/m³ sichergestellt wird.

Dies wird i.d.R. jedoch mit der Einhaltung geeigneter Bedingungen verknüpft sein, z. B.:

- Vorlage einer entsprechenden Herstellerbescheinigung darüber, dass

  mit dem gewählten Anlagenkonzept eine Benzolkonzentration von weniger als 10 mg/m³ sicher erreicht wird (messtechnischer Nachweis durch eine qualifizierte Messstelle für das vorgesehene Brennstoffband),

  motorisch nicht nutzbares Holzgas sicher nachverbrannt wird (CO-Konzentration im Abgas < 2 g/m³; in Deutschland kann dies durch den Schornsteinfeger nachgewiesen werden), ausgenommen einmal wöchentliche An- und Abfahrvorgänge, die weniger als 5 Minuten andauern, und

  Entwicklungsarbeiten an der Anlage, die zu zusätzlichen An- und Abfahrvorgänge führen können, nicht erforderlich sind.

- Jährliche Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktion des Katalysators (CO-Abscheidegrad > 70 %) durch Messungen der Kohlenmonoxidkonzentration vor und nach Katalysator (in Deutschland kann dies durch den Schornsteinfeger erfolgen).

7 Literatur

[1] Timmerer H. L., Lettner F.: Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen (Abschlussbericht), Energiesysteme der Zukunft, Nr. 807786, 2005.

[2] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7132: Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff, Begriffsbestimmung und Merkmale; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.

[3] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7133, Holzhackgut für energetische Zwecke, Anforderungen und Prüfbestimmungen; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.

[4] Nussbaumer Th., Neuenschwander P., Hasler Ph., Bühler R.: Energie aus Holz - Vergleich der Verfahren zur Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Holz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern (CH)1997, 153 Seiten, 1997.

[5] Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie der europäischen Union 67/548/EWG über Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe unter den entsprechenden Änderungen der Richtlinie 1999/33/EG, Richtlinie 2001/59/EG sowie Richtlinie 92/32/EWG, 2001.

[6] Republik Österreich: BGBl. II Nr. 253/2001 i.d.F BGBl. II Nr. 184/2003 und BGBl. II Nr. 119/2004: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2003 - GKV 2003), Anhang I/2003: Stoffliste, 2003.

[7] Armstrong B., Hutchinson E., Fletcher T.: Cancer risk following exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a meta-analysis, London School of Hygiene and Tropical Medicine for the Health and Safety Executive, 2003.

[8] Steinbach J., Antelmann O., Lambert M.: Methoden zur Bewertung des Gefahrenpotentials von verfahrenstechnischen Anlagen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitssschutz und Arbeitsmedizin, Berlin-Dortmund, 1991.

[9] Steen H.: Handbuch des Explosionsschutzes, Wiley-VCH, Willingdon/England, 2000.

[10] Kühnreich K., Bock F.-J., Hitzbleck R., Kopp H., Roller U., Woizischke N.: Ermittlung und Bewertung des Gefahrenpotentials für Beschäftigte in verfahrenstechnischen Anlagen und Lagereinrichtungen, Berlin-Dortmund, 1998.

[11] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1050, "Sicherheit von Maschinen - Leitsätze zur Risikobeurteilung", 1997.

[12] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1127 T1, "Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz, Teil 1: Grundlagen und Methodik", 1997.

[13] Siebenhofer M.: Sicherheitstechnik verfahrenstechnischer Anlagen; VTU Engineering - TU Graz; Vorlesungsskriptum; Grambach/Graz, 2003.

[14] Standard IEC: IEC 812/1985 - Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis FMEA, 1985.

[15] EKSC-Switzerland: Sicherheit: Einführung in die Risikoanalyse – Systematik und Methoden; Schriftenreihe Heft 4; Expertenkommission für die Sicherheit der chemischen Industrie in der Schweiz, 1996.

[16] http://www.hse.gov.uk/risk/faq.htm

[17] Timmerer H L: Anlagensicherheit und Prozessführung für thermische Biomassevergasungs-KWK-Anlagen mit gestufter Gaserzeugung, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, 2007.

[18] Rogers R. L.: RASE Project Explosive Atmosphere: Risk Assesment of Unit Operations and Equipment; Methodology for the risk Assesment of Unit Operations and Equipment for Use in potential Explosive Atmosphere, March 2000.
[19] SHAPE-RISK: Sharing Experience on Risk Management (Health, Safety and Environment) to design Future Industrial Systems, 6th Framework Programm, 2007.
[20] Steinbach J., “Safety Assessment for Chemical Processes”, Wiley-VCH, 1999
[21] “Reducing Risks Protecting People - HSE’s decision-making process”, HSE Books, 2001
[22] Cusco L.: Standards - Good practice & goal setting, UK regulatory apporach, UK HSE Laboratory; Conference Paper, IEA - ThermalNet meeting, Innsbruck, 2005.
[23] Hummelshoj R.; Garde, F.; Bentzen, J.D.: Miljøprojekt 112 - Risk assessment at biomass gasification plants; Denmark Standardisation; COWI Consulting Engineers and Planners AS, 2006.
[24] DIN 6779-10, Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation - Teil 10: Kraftwerke, 2007-04.
[25] EN 61346-1, Industrial systems, installations and equipment and industrial products. Structuring principles and reference designations. Part 1: Basic Rules, 1998-01-14.
[26] “Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2nd Edition)”, Center for Chemical Process Safety/AIChE, 2000
[27] http://www.hse.gov.uk/comah/circular/perm12.htm
[28] Middleton M, Franks A., “Using risk matrices”, The Chemical Engineer, 723, pp. 34–37, 2001
[29] **www.hse.gov.uk/comah/circular/perm12.htm#top**
[30] Environment Agency (UK): IPPC Sector Guidance Note Combustion Activities, Bristol, 2002
[31] NT ENVIR 010: Guidelines for Storing and Handling of Solid Biofuels, Nordic Innovation Centre, Oslo, Oct. 2008
[32] Christiansen, H. F., Danish Energy Agency; persönliche Mitteilung
[33] Schmoeckel, G., Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU Bayern); persönliche Mitteilung